

# VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 57

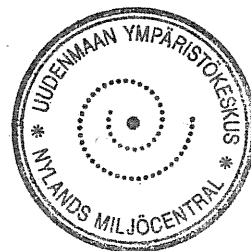
MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS  
POHJAVETEEN

Projektin esittely ja vuosien  
1984 ja 1985 tulokset

RAPORTTIOSA



V E S I - J A Y M P Ä R I S T Ö H A L L I T U K S E N  
M O N I S T E S A R J A



Nro 57

MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS  
POHJAVETEEN

Projektin esittely ja vuosien  
1984 ja 1985 tulokset

RAPORTTIOSA

Vesi- ja ympäristöhallitus  
Geologian tutkimuskeskus  
Tie- ja vesirakennushallitus  
Maa ja Vesi Oy

Helsinki 1988

Raportin painatuksen jälkeen tekstissä havaitut virheet:

- s. 46 korrelaatiomatrikseja ei ole liitteenä
- s. 61 sivun 61 jälkeen sivunumeroinnissa on hyppäys, seuraava sivunumero on 64
- s. 116 tekstin kuvanumerot 185 ja 1986 pitää olla 180 ja 181
- s. 124 kuva 186 on sivulla 141

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa vesi- ja ympäristöhallituksen kuntatoimistosta.

ISBN 951-47-0270-0 (Koko teos)  
ISBN 951-47-0271-9 (Raporttiosa)  
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1988



# MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS POHJAVETEEN, PROJEKTIN ESITTELY JA VUOSIEN 1984 JA 1985 TULOKSET

## 1 JOHDANTO

## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

- 2.1 Tutkimuksen tausta
- 2.2 Maa-aineksen ottoon ja pohjaveden suojeluun  
liittyvä lainsäädäntö
- 2.3 Tutkimuksen tavoitteet ja muut tutkimukset

## 3 TUTKIMUSOHJELMA

- 3.1 Yleistä
- 3.2 Osatutkimukset
- 3.3 Aikataulu ja raportointi
- 3.4 Rahoitus

## 4 ESISELVITYKSET

- 4.1 Yleistä
- 4.2 Pohjaveden suojelu
- 4.3 Soranoton vaikutus pohjaveden kemiaan  
aikaisempien näytteiden perusteella
- 4.4 Pohjavedenpinnan alaisen maa-aineksen oton  
vaikutus pohjaveteen
- 4.5 Miten pohjavesi vaikuttaa pohjaveden laatuun
- 4.6 Maa-ainesten ottopaikkatutkimus
- 4.7 Kenttätutyöohjeet

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

- 5.1 Yleistä
- 5.2 Laboratoriomääritykset ja aineiston käsittely
  - 5.2.1 Kenttä- ja laboratoriomääritykset
  - 5.2.2 Tutkimusalueista kerättävät tiedot
  - 5.2.3 Aineiston tietokonekäsittely
- 5.3 Lysimetritutkimukset
  - 5.3.1 Yleistä
  - 5.3.2 Laitteisto
  - 5.3.3 Näytteenotto lysimetreistä
- 5.4 Alueelliset pohjavesitutkimukset
  - 5.4.1 Näyteverkosto
  - 5.4.2 Pohjavesinäytteenotto

## 6 TUTKIMUSALUEET JA VESIANALYYSITULOKSET

### 6.1 Yleistä

### 6.2 Lysimetritutkimusten alueet ja ionikohtaiset tulokset

#### 6.2.1 Alueet

#### 6.2.2 Ionikohtaiset tulokset

### 6.3 Pohjavesitutkimusten alueet ja niiden vedenlaatu

#### 6.3.1 Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alue

##### 6.3.1.1 Yleistä

##### 6.3.1.2 Pohjavesi, havaintoputket

##### 6.3.1.3 Lammikkovesi ja ottamovesi

#### 6.3.2 Turun vesi- ja ympäristöpiirin alue

##### 6.3.2.1 Yleistä

##### 6.3.2.2 Lammikkovesi ja ottamovesi

#### 6.3.3 Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin alue

##### 6.3.3.1 Yleistä

##### 6.3.3.2 Pohjavesi

##### 6.3.3.3 Lammikkovesi ja ottamovesi

#### 6.3.4 Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirin alue

##### 6.3.4.1 Yleistä

##### 6.3.4.2 Pohjavesi, lähteet

##### 6.4.3.3 Lammikkovesi

#### 6.3.5 Oulun vesi- ja ympäristöpiirin alue

##### 6.3.5.1 Yleistä

##### 6.3.5.2 Pohjavesi, havaintoputket

##### 6.3.5.3 Lammikkovesi

## 7 TULOSTARKASTELU

### 7.1 Yleistä

### 7.2 Sadevesi

### 7.3 Lysimetrit

#### 7.3.1 Yleistä

#### 7.3.2 Tuusula

#### 7.3.3 Lammi

### 7.4 Pohjavesi

#### 7.4.1 Yleistä

#### 7.4.2 Sähkönjohtavuus ja pH

#### 7.4.3 Happipitoisuus ja hiilidioksidipitoisuus

#### 7.4.4 Raskasmetallipitoisuus

#### 7.4.5 Anioni- ja kationipitoisuus

## 7.5 Lammikot ja vedenottamot

- 7.5.1 Yleistä
- 7.5.2 Lammikoiden yleiskuva
- 7.5.3 Lammikoiden veden laadusta ja tilasta
- 7.5.4 Lammikoiden alueellinen tarkastelu
- 7.5.5 Läpivirtauksen vaikutus lammikon vedenlaatuun
- 7.5.6 Lammikkoveden ja muodostuman pohjaveden vuorovaikutus
  - 7.5.6.1 Läpivirtauslammikko
  - 7.5.6.2 Ei läpivirtauslammikko

### 7.5.7 Esimerkkejä heikkotilaisista lammikoista

## 8 PÄÄTELMIÄ

## 9 JATKOTUTKIMUKSET

## KIRJALLISUUS

## LIITTEET



## 1 JOHDANTO

Vedenhankintaan käyttökelpoiset pohjavesivarat sijaitsevat pääasiassa hiekka- ja sora-alueilla. Hiekkaa ja soraa tarvitaan myös erilaiseen rakennustoimintaan. Näiden keskenään erilaisten toimintojen keskittyminen samoille alueille on lisännyt suunnittelutarvetta hiekka- ja sora-alueiden tulevasta käytöstä.

Hiekka- ja sora-alueiden käyttösuunnitelmien laatiminen edellyttää hyviä tietoja hiekka- ja soramuodostumien geologisista ja hydrogeologisista ominaisuuksista ja niiden sopivuudesta sekä vedenhankintaan että maa-ainesten ottoon. Suunnitelmien laatimista on vaikeuttanut tiedon puute esimerkiksi seuraavista seikoista: miten maannoskerroksen poistaminen vaikuttaa muodostuvan pohjaveden määrään ja laatuun, minkälaiset suojakerrospaksuudet on syytä jättää pohjavettä suojaamaan, onko parempi kaivaa rajoitetulta alueelta pohjavedenpinnan alapuolelle saakka vai laajalta alueelta pohjaveden yläpuolelta ja minkälaisia jälkihoito-toimenpiteitä soranottoalueilla pitää tehdä ja minkälaiseen jälkikäyttöön vanhat soranottoalueet soveltuvat.

Näiden ongelmien ja tiedon puutteen poistamiseksi käynnistettiin 1984 laaja yhteistyötutkimus "maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen". Tutkimukseen osallistuvat vesi- ja ympäristöhallitus, geologian tutkimuskeskus ja tie- ja vesirakennushallitus sekä sen konsulttina Maa ja Vesi Oy. Tutkimus aloitettiin kirjallisuuteen, karttatulkintoihin ja maastotöihin perustuvilla esitutkimuksilla. Kenttätutkimukset aloitettiin vuoden 1985 alusta Helsingin, Turun, Vaasan, Kokkolan ja Oulun vesipiirien alueilla ja 1987 alusta Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiirin alueella. Näytteitä otetaan sadevedestä, vajovedestä, pohjavedestä sekä soranottoalueiden lammikkovedestä. Näytteenotto on suunniteltu päättyväksi vuoden 1988 lopussa, mutta eräiden osaprojektien osalta tutkimusta tullaan kuitenkin jatkamaan kauemmin.

Tässä raportissa esitellään erilliset osatutkimukset sekä käsitellään vuoden 1985 tulokset. Liiteosassa on esitelty vuoden 1985 tulokset.

Tutkimuksen suunnittelusta, valvonnasta ja toteutuksesta vastaa johtoryhmä, jonka kokoonpano on seuraava:

Tutkimuksen vastuullinen johtaja: Tuomo Hatva (VYH)  
 Projektisihteeri: Birgitta Backman  
 Tutkimusassistentti: Matti Sandborg  
 Yhteyshenkilöt: DI Erkki Matilainen (TVH)  
 FL Juho Hyyppä (GTK)  
 DI Tapani Suomela (VYH)  
 DI Hannu Penttilä (YM)

Tutkimukseen ovat osallistuneet lisäksi:

MMK Heikki Penttinen, limnologiset tutkimukset (VYH)  
 Helsingin, Turun, Vaasan, Kokkolan, Oulun ja Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiirit sekä useat tiepiirit.



## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

### 2.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimuksia soranoton vaikutuksista pohjaveden laatuun ja määrään ei ole Suomessa aikaisemmin tehty. Ulkomailta, esim. Ruotsissa ja Saksassa, tehdyt tutkimukset on tehty erilaisissa kallioperä-, maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa eivätkä näin ole suoraan sovellettavissa meidän maamme olosuhteisiin.

Pohjavedenpinnan yläpuolisten soravarojen ehtyminen etenkin suurten asutuskeskusten läheisyydessä on lisännyt tarvetta ottaa soraa pohjavedenpinnan alapuolelta. Maamme sora- ja hiekkavaroista on arvioitu olevan pohjavedenpinnan alapuolella 20 mrd m<sup>3</sup>. Pohjavedenpinnan yläpuolista murskauskelpoista ainesta, soraa ja hiekkaa on 47,5 mrd m<sup>3</sup> (Niemi J., 1979).

Toisaalta on myös tarve pohjavesivarojen suojelemiseen ja harjuaalueiden varaamiseen vedenhankintaa varten lisääntynyt. Maamme vesilaitosten vedenhankinta on 49 prosenttisesti pohjaveden varassa. (Vesihallitus, 1986). Pohjaveden osuutta pyritään kasvattamaan, koska pohjavedet ovat sopivampia vedenhankintaan. Pintavedet ovat herkempiä ympäristöhaitoille (esim. vesistöjen likaantuminen ja Etelä-Suomen vesistöjen happamoituminen).

Pohjaveden saannin turvaaminen edellyttää tietoja muun muassa maa-aineksen oton vaikutuksista pohjaveden määrään ja laatuun erilaisissa olosuhteissa. Nykyiset tiedot ovat hajanaisia ja puutteellisia tai ulkomailta saatuja. Tiedon puute on vaikeuttanut valvontaa sekä vesilain pilaamis- ja muuttamiskieltojen (VL 1 luku 22 § ja 18 §) tulkintaa ja näin hidastanut asioiden käsittelyä vesihallinnossa ja vesioikeuksissa.

Hyvälaatuisen pohjaveden ja soran hankinnan turvaamisessa on tiedon puutetta erityisesti seuraavissa asioissa: Miten pohjaveden muodostumisolosuhteiden muuttaminen, kasvillisuuden ja maannoskerroksen poistaminen, maakerrosten ohentaminen ja lammikoituminen, vaikuttaa pohjaveden laatuun ja määrään. Minkälaisia lyhytaikaisia ja pitkäaikaisia vaikutuksia on pohjavedenpinnan ylä- ja alapuolisella soranotolla pohjaveden laatuun ja määrään. Miten ilman epäpuhtaudet vaikuttavat pohjaveden laatuun soranottoalueilla. Minkälaiset suojakerrospaksuudet erilaisille toiminnoille (virkistys, asutus tai teollisuus) kaavoitettaville alueille on jätettävä, jotta pohjavesi voitaisiin suojata. Minkälaiset jälkihoitotoimenpiteet sopivat eri olosuhteisiin, esim. sora-, hiekka- tai hieta-alueet tai lammikoituneet alueet. Minkälaisia jälkikäyttömahdollisuuksia vanhoilla soranottoalueilla on. Minkälaiset valintaperusteet soranottoalueille pitää olla, esimerkiksi alueen sijainti, koko, vaikutukset ympäristöön, kaivetaanko laajalta alueelta pohjavedenpinnan yläpuolelta vaiko pienellä alueella pohjavedenpinnan alapuolelle saakka. Miten eri soranottotekniikat vaikuttavat. Miten pohjaveden suojelua ja valvontaa voidaan edistää.

## 2.2 Maa-ainesten ottoon ja pohjaveden suojeluun liittyvä lainsäädäntö

Maa-ainesten ottoa koskevia säädöksiä sisältyy lähinnä maa-aineslakiin ja vesilakiin. Sen lisäksi eräät rakennuslakiin sisällytetyt toimenpidekiellot koskevat säädökset koskevat muun muassa maa-ainesten ottoa.

Pohjaveden muuttamiskielto (VL 1:18)

Vesilain 1 luvun 18 §:n 1 momentti sisältää seuraavan kiellon:

"Älköön kukaan ilman vesioikeuden lupaa niin käyttäkö pohjavettä taikka ryhtykö sellaiseen pohjaveden ottamista tarkoittavaan toimeen, että toisen kiinteistöllä mahdollisuus talousveden saamiseen tai erityisen antoisan pohjavesiesiintymän hyväksikäyttämiseen olennaisesti huonontuu taikka jonkin pohjavettä ottavan laitoksen veden saanti vaikeutuu. Sama koskee myös muunlaista kuin pohjaveden ottamista tarkoittavaa toimenpidettä, jos siitä ilmeisesti aiheutuu edellä mainittu seuraus".

Lainkohdassa tarkoitettuna "muunlaisena toimenpiteenä" on eräissä korkeimman hallinto-oikeuden ja korkeimman oikeuden päätöksissä pidetty muun muassa maa-aineksen ottoa tietyissä olosuhteissa. Tarkasteltaessa muuttamiskieltoa lähemmin voidaan todeta muun muassa seuraavat näkökohdat:

- 1) Maa-ainesten otto on tietyissä olosuhteissa kielletty ilman vesioikeuden lupaa.
- 2) Kielto kattaa jo käytössä olevat pohjavesiesiintymät sekä myös vielä käyttämättömät "erityisen antoisat pohjavesiesiintymät", jos ne sijaitsevat toisen kiinteistöllä (vrt. vesilain sanamuoto: "mahdollisuus ... hyväksi käyttämiseen olennaisesti huonontuu").
- 3) Kielto on voimassa, vaikka tutkimustuloksiin perustuvaa näyttöä jo tapahtuneesta haitasta ei vielä olisikaan. Riittää, kun "ilmeisesti aiheutuu edellä mainittu seuraus".
- 4) Kielto kattaa sekä antoisuuden vähentämisen että laadun muuttamisen, mikäli kyseessä ei ole suoranainen pohjaveden likaaminen lialla, jätteillä tms., mikä kuuluu VL 1:22:n piiriin.

Pohjaveden muuttamiskiellosta poikkeamiseen voidaan VL 9:8:1:n mukaan myöntää lupa, jos

- hankkeesta saatava hyöty on siitä johtuvaa vahinkoa, haittaa tai muuta edunmenetystä huomattavasti suurempi tai
- jos yleinen tarve sitä vaatii.

Toisaalta VL 9:8:2:n mukaan lupaa älköön myönnettäkö, jos toimenpiteestä aiheutuisi asutus- tai elinkeino-oloja huo-  
nontava veden saannin estyminen tai vaikeutuminen laajalla  
alueella taikka muu yleiseltä kannalta huomattava vahingol-  
linen muutos ympäristön oloissa eikä muutoksen vaikutuksia  
toimenpiteen yhteydessä suoritettavin järjestelyin voida  
estää.

Pohjaveden muuttamiskiellon lisäksi vesistön muuttamiskiel-  
to (VL 1:15) saattaa eräissä erikoistapauksissa vaikuttaa  
rajoittavasti maa-ainesten ottoon. Lisäksi maa-ainesten  
otto lisää VL 1:22:ssa tarkoitettua pohjaveden likaantumisen  
riskiä.

### Maa-aineslain 3 §

MAL:n 3 §:n 1 momentin mukaan maa-aineksia ei saa ottaa  
siten, että siitä aiheutuu muun muassa huomattavia ja  
vahingollisia muutoksia luonnonolosuhteissa. Toisaalta  
kyseisen pykälän 2 momentin mukaan ottamispaiikat on sijoit-  
tettava ja ainesten ottaminen järjestettävä niin, että  
ottamisen vahingollinen vaikutus luontoon ja maisemakuvaan  
jää mahdollisimman vähäiseksi eikä toiminnasta aiheudu asu-  
tukselle tai ympäristölle vaaraa tai kohtuullisin kustan-  
nuksin vältettävissä olevaa haittaa.

Maa-aineslain 3 § koskee lain perustelujen mukaan kaikkia  
luonnonolosuhteita, myös pohjavesiä, jotka on perustelussa  
erityisesti mainittu. Sama seikka on todettavissa suoraan  
lain rakenteestakin. Lain 13 §:ssä säädetään, että jos  
ainesten ottamiseen tarvitaan vesioikeuden lupa tai vesi-  
asiaa koskeva hakemus on vesioikeudessa vireillä, maa-  
aineslain mukaisen hakemuksen käsittely voidaan lykätä,  
kunnes vesiasia on lainvoimaisesti ratkaistu. Kun toisaalta  
MAL 2 §:n 3 kohdan mukaan MAL ei ollenkaan koske sellaista  
ainesten ottamista vesialueilla, johon vaaditaan vesioikeu-  
den lupa, voinee MAL:n 13 §:ssä tarkoitettu tilanne syntyä  
vain maa-alueella suoritettavassa maa-ainesten otossa,  
jolloin suojeltavana kohteena on lähes aina pohjavesi.

Lain 13 §:n 1 momentin mukaan lupahakemuksesta on hankit-  
tava vesipiirin vesitoimiston lausunto, ellei sitä ole  
pidettävä tarpeettomana. Jos ainesten ottamiseen tarvitaan  
vesioikeuden lupa tai asiaa koskeva hakemus on vesioikeu-  
dessa vireillä, kunta voi lykätä maa-aineslain mukaisen  
käsittelyn, kunnes vesiasia on lainvoimaisesti ratkaistu.

Maa-aineslain ja vesilain mukaiset lupajärjestelmät ovat  
maa-alueilla voimassa toisistaan riippumatta ja maa-ainek-  
sen oton osalta on tarkistettava molempien lupien tarpeel-  
lisuus erikseen. Maa-aineksen ottaja joutuu noudattamaan  
kummankin luvan ehtoja ja jos lupaehdot koskevat samoja  
asioita, esim. suojakerrospaksuuksia, on noudatettava sitä  
lupaa, jossa on tiukemmat vaatimukset ko. asian osalta.

Rakennuslain 124a § kuuluu seuraavasti:

"Asema-, rakennus- tai rantakaava-alueella ei saa suorittaa  
kaivamis-, louhimis-, tasoittamis- tai täyttämistyötä, pui-

den kaatamista tai muuta näihin verrattavaa toimenpidettä ilman kunnanhallituksen lupaa (toimenpidekielto). Sama toimenpidekielto on voimassa, jos yleiskaavassa erityisellä määräyksellä niin määrätään. Lupa ei ole tarpeen, jos maa-aineksia otetaan omaa tai toisen tavanomaista kotitarvekäyttöä varten tai jos muu toimenpide on vähäinen. Lupa on myönnettävä, jollei toimenpide vaikeuta alueen käyttämistä kaavassa varattuun tarkoitukseen eikä turmele kaupunki- tai maisemakuva.

Toimenpidekielto on voimassa myös alueella, joka on rakennuskiellossa asema- tai rakennuskaavan laatimista tai muuttamista varten.

Jos yleiskaavan laatiminen tai muuttaminen on vireillä taikka yleiskaava on osaksi tai kokonaan jätetty vahvistamatta, sisäasiainministeriö voi määrätä alueelle toimenpidekiellon enintään viideksi vuodeksi kerrallaan.

Lupa voidaan 2 ja 3 momentissa mainituissa tapauksissa myöntää, jollei toimenpide tuota huomattavaa haittaa asianomaisen kaavan laatimiselle tai toteuttamiselle eikä turmele kaupunki- tai maisemakuva.

Myönnettäessä lupaa kaivamis- ja louhimistyöhön on soveltuvin osin lisäksi noudatettava, mitä maa-aineslain (555/81) 3 §:n 2 momentissa, 5, 6, 10-13, 16 ja 21 §:ssä on säädetty".

#### Vesilain uudistus

Hallituksen esityksessä vesilain uudistamiseksi on myös pohjaveden muuttamiskielto ollut muutostyön kohteena. Kyseinen lainkohta on esityksessä muotoiltu seuraavasti: "Ilman vesioikeuden lupaa ei saa käyttää pohjavettä tai ryhtyä pohjaveden ottamista tarkoittavaan toimeen siten, että siitä voi aiheutua jonkin pohjavettä ottavan laitoksen vedensaannin vaikeutuminen, tärkeän tai erityisen antoisan pohjavesiesiintymän antoisuuden olennainen vähentyminen tai sen hyväksikäyttämismahdollisuuden muu huonontuminen taikka toisen kiinteistöllä talousveden saannin vaikeutuminen (pohjaveden muuttamiskielto). Kielto koskee myös maankamaran ainesten ottamista ja muuta toimenpidettä, josta 22 §:ssä ei ole säädetty, jos siitä ilmeisesti voi aiheutua edellä mainittu tai 22 §:ssä tarkoitettu seuraus".

### 2.3 Tutkimuksen tavoitteet ja muut tutkimukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää maa-ainesten oton vaikutukset pohjaveden määrään ja laatuun erilaisissa olosuhteissa pohjaveden suojelua ja maanoton turvaamista varten. Tehtyjen selvitysten perusteella voidaan tarkistaa ja yhtenäistää vanhoja ohjeita sekä laaditaan uusia suosituksia ja ohjeita, jotka käsittelevät muun muassa maa-ainesten ottopaikan valintaa ja ottotoimintaa sekä sen valvontaa, suojakerrospaksuuksia, pohjaveden suojelutoimia sekä ottoalueiden jälkihoitotoimenpiteitä.

Suomessa tehdään parhaillaan myös muita tutkimuksia, joissa selvitetään, miten eri tekijät vaikuttavat muodostuvan pohjaveden laatuun. Happamoitumisprojektin osaprojektit "Maaperän puskurikapasiteetti ja sen riippuvuus geologisista tekijöistä" (GTK) sekä "Laskeuman epäpuhtauksien vaikutus maa- ja pohjavesiin" (VYH/VYL) liittyvät osittain maa-ainesprojektiin.

### 3 TUTKIMUSOHJELMA

#### 3.1 Yleistä

Tutkimusprojekti aloitettiin vuonna 1983 kirjallisuusselvityksillä sekä maa-aineksen oton haittoja ja ongelmia koskevilla esiselvityksillä. Niiden perusteella laadittiin vuonna 1984 alustava tutkimussuunnitelma vuosille 1984-88, jota tarkennettiin vuoden 1986 ja vuoden 1987 alussa.

Kenttätutkimukset aloitettiin syksyllä 1984 havaintoverkoston ja lysimetrien rakentamisella. Ensimmäiset seuranta-  
näytteet otettiin talvella 1985. Tutkimusohjelma jakautuu neljään osatutkimukseen.

#### 3.2 Osatutkimukset

##### I Pitkäaikaiset vaikutukset pohjaveden laatuun

###### 1. Vertaileva aluetutkimus

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää pohjaveden muodostumisolosuhteiden muutosten vaikutuksia pohjaveden laatuun erilaisilla ottoalueilla maan eri osissa. Seuranta aloitettiin talvella 1985 ja sitä on tehty yhteensä 42 eri alueella. Seurantaohjelma tarkistetaan vuosittain (taulukko 1).

###### 2. Lammikkotutkimus

Selvitetään veden laatumuutoksia erilaisissa pohjavesilammikoissa ja lammikoitumisen vaikutuksia pohjaveden laatuun. Seuranta aloitettiin kesällä 1984 ja sitä on tehty 31 lammikossa 20 eri alueella. Seurantaohjelma tarkistetaan vuosittain (taulukko 1).

###### 3. Lysimetritutkimus

Selvitetään Tuusulan ja Lammin lysimetrikentille rakennetuissa 32 lysimetrisssä maaperään imeytyvien sade- ja maa-vesien laatumuutoksia luonnontilaisilla alueilla ja alueilla, missä maannoskerros on poistettu. Seuranta aloitettiin keväällä 1985 (taulukko 1).

##### II Välittömät vaikutukset pohjaveden ja lammikkoveden laatuun

Selvitetään maa-ainesten oton vaikutuksesta tapahtuvia nopeita vaikutuksia pohjaveden ja lammikkoveden laatuun esimerkkialueilla tehdyn seurannan avulla. Kartoitetaan myös muualla todetut pohjaveden laatumuutokset (taulukko 1.).



### III Vaikutukset pohjaveden määrään

#### 1. Alustavat selvitykset

Kartoitetaan pohjaveden muodostumiseen maa-aineksen otto-alueilla vaikuttavat tekijät kirjallisuuden ja alustavien kenttähavaintojen avulla (taulukko 1).

#### 2. Kenttätutkimukset ja mallilaskelmat

Testataan teoreettisin perustein laadittu laskentamalli maa-aineksen oton vaikutusten arvioimiseksi muodostuvan pohjaveden määrään kenttähavaintojen avulla (taulukko 1).

#### 3. Todettujen määrämuutosten kartoitus

Kartoitetaan tiedossa olevat tapaukset, joissa maa-ainesten otto on vaikuttanut pohjaveden määrään (taulukko 1).

### IV Pohjaveden suojelutekniikka soranottoalueilla

#### 1. Otto- ja suojelutekniikka

Selvitetään mahdollisuuksien mukaan ottotekniikan ja erilaisten suojarakenteiden vaikutus pohjaveteen jo otetuilla ja oton alaisena olevilla esimerkkialueilla (taulukko 1). Lisäksi tutkitaan samentuneen tai likaantuneen veden puhdistamista kierrätyspumppauksen avulla.

#### 2. Suojakerrospaksuudet

Tutkitaan pohjavedenpinnan yläpuolelle oton jälkeen jätettävän suojakerroksen paksuuden merkitystä pohjaveden suojelun kannalta erilaisissa maalajeissa kenttälysimetrien avulla Tuusulassa (taulukko 1). Suojakerrospaksuuksien merkitystä tutkitaan myös kohtien I.1, II.2 ja IV.3 mukaisilla tutkimuksilla.

#### 3. Jälkihoito ja -käyttö

Erilaisten jälkihoitotapojen vaikutusta pohjaveden laatuun tutkitaan 20 lysimetrin avulla Tuusulassa ja Nurmijärvellä. Kartoitetaan ottoalueiden erilaiset jälkikäyttötavat ja niiden asettamat vaatimukset suojakerrospaksuuksille ja jälkihoidolle (taulukko 1).

### 3.3 Aikataulu ja raportointi

Ohjelman mukaan näytteiden otto on suunniteltu päättyväksi vuoden 1988 lopulla. Eräiden osaprojektien osalta seurantaa ja selvityksiä joudutaan kuitenkin vielä jatkamaan sen jälkeenkin. Raportointi suoritetaan vuonna 1989.

Tutkimuksen tulokset julkaistaan 1987 ja vuonna 1989 loppuraporttina. Lisäksi on julkaistu ja julkaistaan useita erillisselvityksiä. Tutkimustuloksia hyödynnetään nykyisiä ohjeita täydentävien ohjeiden, suositusten ja valvontakirjeiden avulla.

TAULUKKO 1. OSAPROJEKTIT JA AIKATAULU

Työvaihe	84	85	86	87	88	89
<b>I PITKÄAIKAISET VAIKUTUKSET POHJAVEDEN LAATUUN</b>						
<b><u>I.1 LYSIMETRITUTKIMUS</u></b>						
1. Seuranta						
2. Vaikutusanalyysi						
3. Uutos- ja sadevesitutkimus						
4. Radioaktiivisen laskeuman seuranta						
<b><u>I.2 LAMMIKKOTUTKIMUS</u></b>						
1. Seuranta						
-perusseuranta						
-erillisselvitykset						
2. Luokittelu						
<b><u>I.3 VERTAILEVA ALUETUTKIMUS</u></b>						
1. Seuranta						
2. Vaikutusanalyysi						
3. Uutos- ja sadevesitutkimus						
4. Radioaktiivisen laskeuman seuranta						
<b>II NOPEAT VAIKUTUKSET POHJAVEDEN JA LAMMIKKOVEDEN LAATUUN</b>						
1. Pintavesien kulkeutuminen pohjaveteen						
2. Pohjavedenpinnan alaisen soranoton välittömät vaikutukset						
3. Todettujen muiden laatumuutosten kartoitus						
<b>III VAIKUTUKSET POHJAVEDEN MÄÄRÄÄN</b>						
1. Alustavat selvitykset						
2. Kenttätutkimukset ja mallilaskelmat						
- vedenpinnat, lysimetri- ja sadehavainnot						
- mallianalyysi						
3. Todettujen määrämuutosten kartoitus						
<b>IV POHJAVEDEN SUOJELUTEKNIikka OTTOALUEILLA</b>						
<b><u>IV.1 OTTO- JA SUOJELUTEKNIikka</u></b>						
1. Ottotekniikka ja suojarakenteet						
2. Kierrätyspumppaus						
<b><u>IV.2 SUOJAKERROSPAKSUUDET</u></b>						
1. Merkkiainekokeet						
2. Lika-ainekokeet						
3. Muut selvitykset						
<b><u>IV.3 JÄLKIHOITO JA -KÄYTTÖ</u></b>						
1. Lysimetritutkimus						
2. Jälkikäyttötavat						

### 3.4 Rahoitus

Tutkimus on tehty vuoden 1984 loppuun saakka virkatyönä (VH ja GTK) sekä konsulttitoimeksiantoina (TVH/Maa ja Vesi Oy). Vuodesta 1985 lähtien ovat myös ympäristöministeriö, Maj ja Tor Nesslingin säätiö sekä Suomen maarakentajain keskusliitto osallistuneet rahoitukseen.

## 4 ESISELVITYKSET

### 4.1 Yleistä

Tutkimustyö aloitettiin tutkimussuunnitelman mukaisesti vuonna 1983 esiselvityksillä. Selvitykset tehtiin kirjallisuustietojen, karttatulkintojen ja maastotutkimusten perusteella. Niistä on seuraavat raportit ja julkaisut:

- pohjaveden suojeleminen maa-ainesten kaivussa, TVH/Maa ja Vesi Oy, 1983
- soranoton vaikutus pohjaveden koostumukseen aikaisempien näytteiden perusteella, GTK/B. Backman 1983 (moniste, GTK:n arkisto numero P13.5.3.030)
- pohjaveden pinnanalaisen maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen, osa: Sorakuoppalammikon vesitase, GTK/M. Sandborg, 1984
- pohjaveden pinnanalaisen maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen, osa: Maaperän kemiasta I ja II, GTK/M. Sandborg, 1984
- miten soranotto vaikuttaa pohjaveden laatuun. Vesipäivä 1984. GTK/Juho Hyyppä, 1984
- maa-ainesten ottopaikkatutkimus. Ehdotus tutkimusalueiksi. SML/Maa ja Vesi Oy, 1984
- maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen. Kenttätöyohjeet, GTK/B. Backman, 1984.

Tutkimuksen aikana on lisäksi tehty erillisselvityksiä kirjallisuuteen perustuen jälkihoitolysimetreistä sekä maaainesjuridiikasta.

Tutkimuksen puitteissa tehdään myös kahta pro gradu -työtä: Osmo Seppinen; Luonnontilaisten harjujen ja soranottoalueiden maaperän huokosveden koostumuksesta Tuusulan harjujaksolla ja Ulla-Maija Liski: Maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen Noormarkun kunnan Finbyn ja Harjakankaan pohjavesialueilla. Molemmat työt valmistuvat vuoden 1987 aikana.

Tutkimuksen etenemisestä on pidetty tiedotustilaisuudet osallistuvien laitosten ja rahoittajien edustajille vuosina 1985 ja 1986.

#### 4.2 Pohjaveden suojelu

Maa ja Vesi Oy laati v. 1983 Tie- ja vesirakennushallituksen toimeksiantona kirjallisuusselvityksen pohjaveden suojelusta maa-ainesten kaivussa.

Selvitykseen on koottu aihepiiriä käsittelyä lainsäädäntö, lupajärjestelmät, suoja-alueäännöstö ja nykyisin käytössä olevat kaivumenetelmät. Maa-ainesten otto, sen vaikutukset ja vaikutusten säätely on käsitelty sekä pohjavedenpinnan yläpuolelta että pohjavedenpinnan alapuolelta tapahtuvan kaivun kannalta.

#### 4.3 Soranoton vaikutus pohjaveden kemiaan aikaisempien näytteiden perusteella

Keväällä 1983 kerättiin GTK:n toimesta vesinäytteitä kaivoista. Ensimmäisen Salpausselän ja sen eteläpuolisten harjujen alueelta. Näytteitä otettiin luonnontilaisilta alueilta sekä alueilta, joilla oli laajaa soranottoa. Näitä tuloksia verrattiin GTK:ssa vuosina 1978 - 82 kerättyyn "koko maan hydrogeokemiallinen kartoitus" aineistoon, josta valittiin luonnontilaisten harjujen sekä soranottoalueiden valuma-alueella olevat näytepaikat. Valinta tehtiin karttatulkinnan perusteella.

Molempien näytesarjojen tulokset olivat samansuuntaisia: Soranottoalueiden pohjavesien sähkönjohtavuusarvot, kloridi-, sulfaatti-, bikarbonaatti-, kalsium-, magnesium-, natrium- ja kaliumpitoisuudet sekä happipitoisuudet olivat korkeammat kuin luonnontilaisten alueiden pohjavesissä.

#### 4.4 Pohjaveden pinnan alaisen maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen

Raportit ovat projektin alkuvaiheen kirjallisuusselvityksiä, joilla on ollut tarkoituksena hahmottaa tutkimuksen aihepiiriä. Lammikkoraportissa kuvataan sorakuoppalammikon vesitasetta ja virtausolosuhteita. Maaperän kemialla koskevista raporteista kuvataan vajovesivyöhykkeessä vedelle tapahtuvia kemiallisia muutoksia sekä maannoshorisonttien ja maaperän eri ainesosasten rakennetta ja merkitystä. Maaperän kemiasta on tekeillä perusteellisempi selvitys.

#### 4.5 Miten soranotto vaikuttaa pohjaveden laatuun

Julkaisussa käsitellään teoreettisesti niitä tekijöitä, erityisesti maannoksen ja vajovesivyöhykkeen osuutta, jotka vaikuttavat pohjaveden koostumukseen. Lisäksi siinä esitellään kirjoittajan toimesta GTK:n maaperäosastossa vuoden 1983 maaliskuussa aloitetun esitutkimuksen ja yhteistyöprojektin lammikkotutkimuksen alkuvaiheen tuloksia. Edellisen tutkimuksen tuloksista on mainittu osaksi kohdassa 4.3. Lisäksi siinä todettiin harjujen pohjavesien laadun alueellisten erojen olevan merkittäviä. Myös Ruotsissa Örsjön alueella suoritetun tutkimuksen tuloksista, joissa todettiin kloridi- ja sulfaattipitoisuuksien lisääntymistä ja sähkönjohtavuuden ja monien kationien vähenemistä soran-

ottoalueen vieressä olevassa havaintopaikassa, on lyhyt yhteenveto.

#### 4.6 Maa-ainesten ottopaikkatutkimus

Selvityksessä käsitellään tutkimusalueille asetetut vaatimukset, tutkimusalueryhmittely ja kuvataan 36 ehdotettua tutkimusaluetta. Alue-ehdotukset on koottu TVL:n piirien, vesihallituksen ja GTK:n tiedostoista.

#### 4.7 Kenttätyöohjeet

Kenttätyöohjeet laadittiin vuoden 1984 lopussa seuraavan vuoden alussa alkavaa näytteenottoa varten. Kenttätyön suorittavat vesi- ja ympäristöpiirien sekä Geologian tutkimuskeskuksen henkilökunta. Kenttäohjeisiin on koottu näytteenottoaikataulut, näytteenottopaikat (kartat ja näytesyvyudet), ohjeet näytteenottotavasta, kestäväinnistä ja kenttämittauksista sekä selvitykset missä laboratorioissa määritykset tehdään.

### 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

#### 5.1 Yleistä

Tutkimuksessa käytetään kahta päätutkimusmenetelmää: lysimetritutkimukset, joilla selvitetään mikä merkitys maannoskerroksella tai sen puuttumisella on sadeveden imeytyessä vajo- ja pohjavedeksi sekä alueelliset pohjavesitutkimukset erilaisilla soranottoalueilla eri puolilla maata, joilla selvitetään pohjaveden laadun ja määrän muutoksia erilaisissa soranotto-olosuhteissa.

Molemmissa tutkimusmenetelmissä pyritään soranoton aiheuttamat muutokset selvittämään vertailemalla tutkittavan kohteen veden laatua ja määrää vastaavaan luonnontilaiseen tutkimuskohteeseen.

Kaikissa lysimetriyksiköissä on lysimetrejä asennettu luonnontilaisen maannoksen eri horisonttien (uuttumis- ja rikastumiskerros sekä muuttumaton maa) alle, sekä vastaaville syvyyksille täytesoramaan alle. Lysimetrien veden koostumusta ja määrää vertailemalla saadaan selville maannoskerroksen merkitys imeytyvälle sadevedelle. Vesinäytteistä tehdään taulukon 3 tähdellä merkityt määritykset. Näytteenoton yhteydessä mitataan myös lysimetreistä tulevan veden määrä. Eri lysimetriyksiköiden veden laadun ja määrän keskinäinen vertailu, aineiston tilastollinen käsittely, on mahdollista yhtenäisen koodauskäytännön perusteella.

Alueellisessa pohjavesitutkimuksessa seurataan soranottoalueen pohjaveden laatua saman harjun luonnontilaisen osan pohjaveteen. Vesinäytteiden perusteella seurataan veden koostumuksen muutoksia ja vesipintojen tarkkailulla pohjaveden määrällisiä muutoksia. Näytteistä tehdään taulukon 2 määritykset. Soranottoalueilla otetaan vesinäytteitä joko havaintoputkista tai soranotossa muodostuneista lammikoista. Havaintoputket on korvattu joko vedenottamoiden kaivoilla tai lähteillä, jos niiden sijainti on sopiva.



Tilastollista merkitsevyyttä muutoksille saadaan yhdistämällä eri tutkimusalueiden vastaavien tutkimuspisteiden tiedot. Tutkimusalueet on luokiteltu taulukon 1 mukaisesti eri soran-ottotilanteisiin.

Luokituksena on maantieteellinen aluejako. Tutkimusalueet sijaitsevat etelä-pohjoissuunnassa kaukana toisistaan. Sadeveden ja kuivalaskeuman koostumuksella on niin suuri eroavuus esim. Tuusulan ja Kiimingin alueilla, että se ei oikeuta aineiston suoraan vertailuun. Geologiset olosuhteet ovat myös hyvin erilaiset: erilainen kiviaines, erilainen sedimentoituminen, erilainen raekoostumus. Tämän vuoksi aineistossa on tehty suoraan vertailuja saman vesipiirin tutkimusalueiden kesken, mutta koko aineistoa käsiteltäessä on pyritty tarkastelemaan suhteellisia muutoksia.

Tutkimusalueiden sijoittuminen rannikkoalueille on ongelma, joka on syntynyt, kun tutkimusalueet on pyritty saamaan niiltä alueilta, joilla on suurimmat ongelmat sekä veden- että soranhankinnassa. Vuoden 1987 alusta on tutkimukset laajennettu Keski-Suomeen, Saarijärvelle ja Sumiaisiin.

## 5.2 Laboratoriomääritykset ja aineiston käsittely

### 5.2.1 Kenttä- ja laboratoriomääritykset

Pohjavesinäytteistä määritetään kentällä lämpötila, väri, sameus, pH, sähkönjohtavuus, happi- ja hiilidioksidipitoisuudet. Kaikissa piireissä ei ole voitu tehdä täydellisiä kenttämäärityksiä laitteiden puuttuessa. Näytteenoton yhteydessä mitataan myös vedenpinnan korkeus.

Laboratoriomäärityksiä on tehty yleensä yhdeksässä eri laboratoriossa. Kaikissa tutkimukseen osallistuvien vesipiirien laboratorioissa, GTK:n kahdessa laboratoriossa, VH:n laboratoriossa ja Säteilyturvakeskuksen laboratoriossa. Taulukossa 2 on näytteistä tehtävät määritykset ja tekijälaboratoriot (menetelmät liitteenä 1). Kaikista neljännesvuosinäytteistä on määritetty muut paitsi radonpitoisuus, joka on määritetty vain näytepisteen pohjimmaisesta näytteestä. Talvinäytteiden pohjimmaisista näytteistä on muutamia kertoja määritetty myös uraanipitoisuus. Öljypitoisuus on lisäksi määritetty kerran Helsingin vesipiirin lammikonäytteistä. Öljymääritykset on tehty toisen kerran Maa ja Vesi Oy:n toimesta. (Maa ja Vesi Oy 1986b). Lysimetrinäytteistä ja tyhjennyksen yhteydessä otetuista sade- ja pohjavesinäytteistä on määritetty suppeampi määrä analyysijä, taulukossa 2 tähdellä merkityt määritykset. Lysimetrinäytteistä ei ole tehty kenttämäärityksiä.

Pohjaveden talvinäytteet otettiin erilaisilla pumpuilla kuin vuoden muut näytteet. Näiden pumppujen testauksessa ilmeni kupari- ja alumiinikontaminaatiot ja pumput vaihdettiin toisiin. Kokeet, jotka tehtiin tislatusella vedellä, antoivat kuparikontaminaation  $< 1,0 - 3,1 \mu\text{g/l}$  ja alumiinikontaminaation  $1,0 - 8,2 \mu\text{g/l}$ .

Taulukko 2. Vesinäytteistä tehtävät määritykset, niiden alarajapitoisuudet sekä tekijälaboratoriot. Tähdellä merkityt määritykset tehdään tiheenteissä näytteenotossa, lysimetri- ja sadevesinäytteistä.

Määritettävä	Laatu	Määrityksen alaraja	Laboratorio
CO <sub>2</sub>	mg/l	< 0,1	Piiri/Hki GTK
O <sub>2</sub> *	mg/l	0,1	"
Alkaliteetti*	m mol/l	0,01	"
Väriluku	Pt mg/l	< 5	"
Sameus	FTU	< 0,01	"
pH	-	-	"
Sähkönjohtavuus* 25oC	mS/m,	-	"
KMnO <sub>4</sub> -luku*	mg/l	< 0,1	"
Kokonaistyyppi N	mg/l	< 0,01	Piiri
Ammonium NH <sub>4</sub>	mg/l	< 0,01	"
Nitraatti NO <sub>3</sub> *	mg/l	< 0,01	"
Nitriitti NO <sub>2</sub>	mg/l	< 0,01	"
Kokonaisfosfori P	µg/l	< 1,0	"
Fosfaatti PO <sub>4</sub>	µg/l	< 1,0	"
Kloridi Cl*	mg/l	< 0,1	Piiri/Hki GTK
Sulfaatti SO <sub>4</sub> *	mg/l	< 1,0	Piiri
Piihappo SiO <sub>2</sub> *	mg/l	< 0,1	VH, Kyläsaari
Orgaaninen hiili C	mg/l	< 0,1	"
Kiintoaine	mg/l	< 0,1	Piiri/Hki GTK
Klorofylli	mg/m <sup>3</sup>	< 0,01	Piiri
Fek.strept. bakt.	kpl/100 ml	0	"
Koliform. bakt. 35oC	kpl/100 ml	0	"
Fek. koliform. bakt. 44o	kpl/100 ml	0	"
Kalsium Ca*	mg/l	< 0,1	GTK
Magnesium Mg*	mg/l	< 0,1	"
Natrium Na*	mg/l	< 0,1	"
Kalium K*	mg/l	< 0,1	"
Rauta Fe*	mg/l	< 0,05	"
Mangaani Mn*	mg/l	< 0,02	"
Sinkki Zn*	µg/l	< 20	"
Kupari Cu*	µg/l	< 0,5	"
Nikkeli Ni*	µg/l	< 0,5	"
Lyijy Pb*	µg/l	< 0,5	"
Kadmium Cd*	µg/l	< 0,1	GTK
Kromi Cr*	µg/l	< 0,5	"
Koboltti Co*	µg/l	< 0,5	"
Alumiini Al*	µg/l	< 1,0	"
Radon Rn	bq/l	< 1,0	STK

### 5.2.2 Tutkimusalueista kerättäviä muita tietoja

Pohjaveden laatuun vaikuttaa soranoton lisäksi useat geologiset, biologiset ja fysikaaliset tekijät, joiden suhteita on pyritty selvittämään keräämällä kaikista tutkimusalueista pohjaveden laatuun todennäköisesti vaikuttavat tekijät ja arvioimaan niiden vaikutuksen määrä (liite 2).

Tärkeimmät geologiset tekijät, jotka tutkimuksessa selvitetään ovat muodostuman muoto, rakenne ja aines, virtausta estävät kerrostumat sekä pohjavesialtaan koko. Tutkimuksissa on käytetty maatutkaa, seismistä luotausta sekä kairauksia.

Helsingin ja Vaasan vesipiirin tutkimusalueista otettiin maanäytteet maannoksesta, soranottotasosta ja vanhasta soranottopohjasta. Näistä on määritetty raesuuruus ja tislattuun veteen sekä ammoniumasetaattiluokseen uuteista näytteistä on tehty taulukon 3 tähdellä merkityt.

### 5.2.3 Aineiston tietokonekäsitteleminen

Aineisto on tallennettu ja käsitelty GTK:n VAX-tietokoneella. Tallennus-, tarkistus-, käsittely- ja tulostusohjelmat ovat tehneet suunnittelijat Pentti Mannelin ja Sirkka Lojander.

Aineisto muodostuu 9 eri tietueesta, joista ensimmäinen koostuu muuttumattomista perustiedoista, toisessa tietueessa on kenttätiedot ja lämpötilaprofiilit. 3 - 7 tietueet sisältävät analyysien tulokset laboratorioittain, kahdeksas tietue on soranottotilanne ja sen muutokset ja yhdeksäs tietue sisältää pohjaveden pinnan muutokset.

Jokaisella näytteellä on kuuden merkin pituinen tunnus, joka alkaa vesipiirin tunnuksella ja sisältää harjujakson, valuma-alueen, näytepisteen, näytetason ja näytetyypin tunnukset. Tunniste, näytteenottopaikka ja soranottotilanteen luokitus ovat avaimina, joiden mukaan aineisto voidaan luokitella. Perustietojen tietuekuvaukset ovat liitteessä (liite 2).

## 5.3 Lysimetritutkimukset

### 5.3.1 Yleistä

Lysimetritutkimuksilla selvitetään maaperän pintaosan poiston, eri suojakerrospaksuuksien, likaantumisen (ml. radioaktiiviset aineet) ja jälkihoitotoimenpiteiden vaikutuksia vajoveteen. Tuloksia käytetään myös happamoitumisprojektin osaprojekteissa: "Maaperän puskurikapasiteetti ja sen riippuvuus geologisista tekijöistä" (GTK) ja "Laskeuman epäpuhtauksien vaikutus maa- ja pohjavesiin" (VH, VL).

Lysimetrejä on asennettu luonnontilaisille alueille Tuusulassa ja Lammilla, sekä soranottoalueelle Tuusulassa. Tuloksia on saatu tähän mennessä Tuusulaan talvella -85

asennetusta laitteistosta, jossa on toiminut yksi maannos-lysimetri (luonnontilaisen pintakerroksen alla) ja yksi vertailulysimetri (täytemaan alla), sekä Lammin lysimetreistä.

### 5.3.2 Lysimetrilaitteisto

Lysimetriastia on suorakulmainen, muovinen pönttö, jonka mitat ovat yläpäästä 43 x 43 cm ja korkeus 70 cm. Sen alapäästä lähtee 1 - 3 muovista poistoletkua. Letkujen määrällä varmistetaan niiden aukipysyminen. Joissakin pöntöissä on imuletku, joka jatkuu reijitettynä pöntön sisäpuolelle. Letkusta voidaan imeä vettä alipaineella.

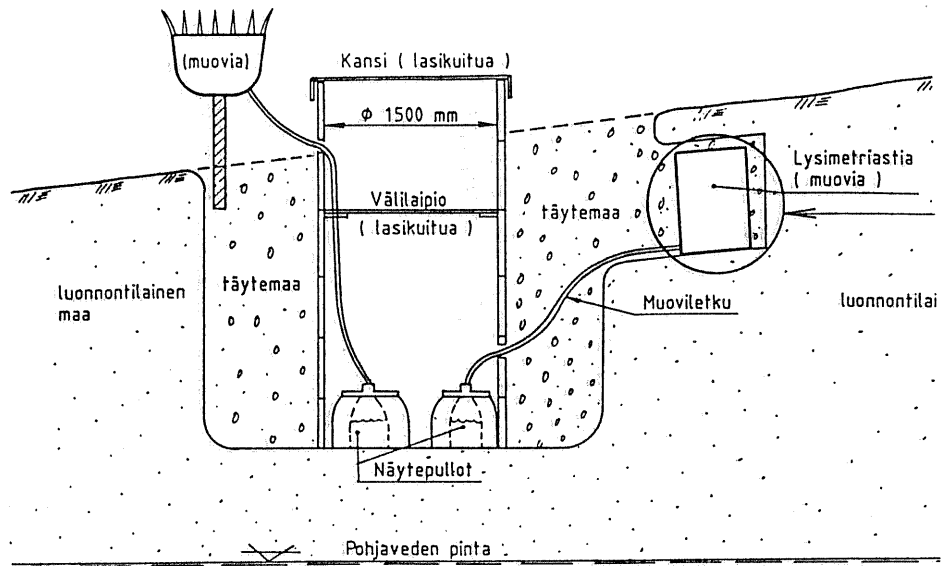
Maahan kaivetaan kuoppa, jonka rintaukseen halutulle syvyydelle ehjän pintakerroksen alle tehdään 1-1,5 m syvä, lysimetripöntön suuruinen kolo. Pönttöön pannaan puoliväliin asti seulottua soraa. Se työnnetään paikoilleen ja täytetään perusmaalla. Kuoppaan tehdään kaivonrenkaista kuilu, jonka alaosaan poistoletkut johdetaan. Vertailulysimetri asennetaan kuoppaan, halutulle syvyydelle ja kuoppa täytetään alkuperäisellä maalla. Letkujen päihin asennetaan näytepullot, jotka sijoitetaan isompaan astiaan ylivaluvan veden määrän mittaamisen mahdollistamiseksi. Lysimetriastioita voidaan sijoittaa samaan kuoppaan useita (kuvat 1 ja 2).

Lysimetriastian sisällä veden liikkumiseen vaikuttavat painovoima ja vettä maarakeisiin sitovat voimat (pintajännitys, adsorptio ym.). Painovoiman vaikutuksesta vesi liikkuu alaspäin, maarakeisiin sitovat voimat pitävät vettä paikoillaan tai nostavat sitä ylöspäin. Näiden aiheuttamat potentiaalit ovat vastakkaisia, itseisarvoltaan suurempi määrää veden liikkeen suunnan. Mitä vähemmän maassa on vettä, sitä voimakkaammin vesi on kiinnittynyt maarakeisiin. Lysimetriastian joutuva vajovesi pyrkii nostamaan vesipitoisuutta astian sisällä. Ympäristön pienempi vesikylläisyys toisaalta pyrkii tasoittamaan potentiaalieroja eli nostaa vettä ylöspäin. Veden liikettä alaspäin vastustaa myös adsorptio ja pintajännitys poistoletkun suulla. Mikäli astian reunat ovat liian matalat, vesi pääsee siitä pois, eikä virtaa poistoletkua myöten näytepulloon. Ensimmäiseen lysimetrilaitteistoon Tuusulassa talvella -85 asennettiin kolme matalareunaista (10 cm) astiaa. Näistä ei yhdestäkään saatu näytteitä, vaikka niiden pinta-ala oli suurempi kuin korkeareunaisten astian, josta saatiin v. -85 aikana n. 50 l vettä.

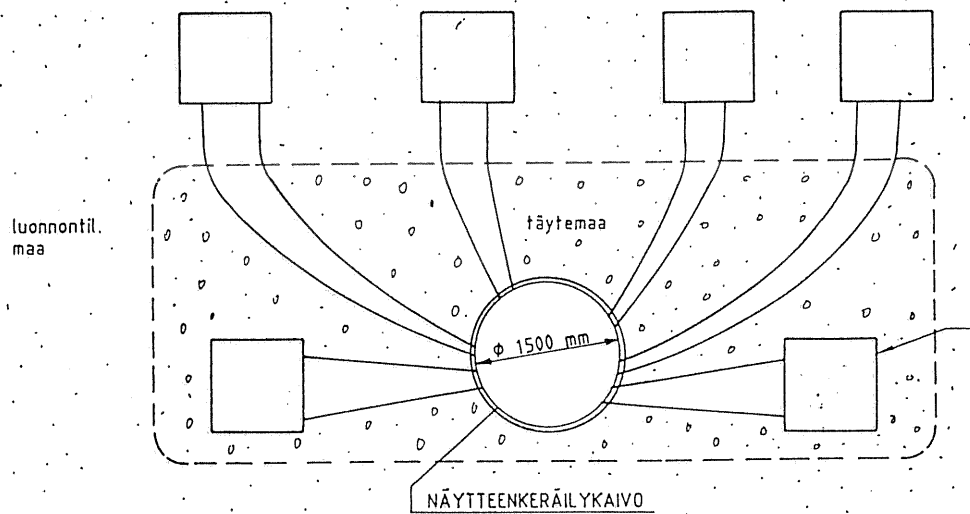
### 5.3.3 Näytteenotto lysimetreistä

Lysimetreistä otetaan näytteet kerran viikossa sulan maan aikana.

Lysimetrien tyhjennyksen yhteydessä otetaan vesinäyte myös viereisestä pohjavesiputkesta ja sateenkerääjästä. Ensimmäiset näytteet saatiin 29.4.1985. Näytteenoton hoitaa GTK:n henkilökunta. Tutkimusalueilta on otettu myös lumi-näytteet ja maanäytteitä. Kontaminaation välttämiseksi on sadevesiastiat tehty muovista. Sadevesinäytteitä saatiin v. 1985 aikana vain Tuusulan tutkimusalueelta.



Kuva 1. Lysimettilaitteisto



Kuva 2. Lysimetriastioiden sijoittelu ylhäältä



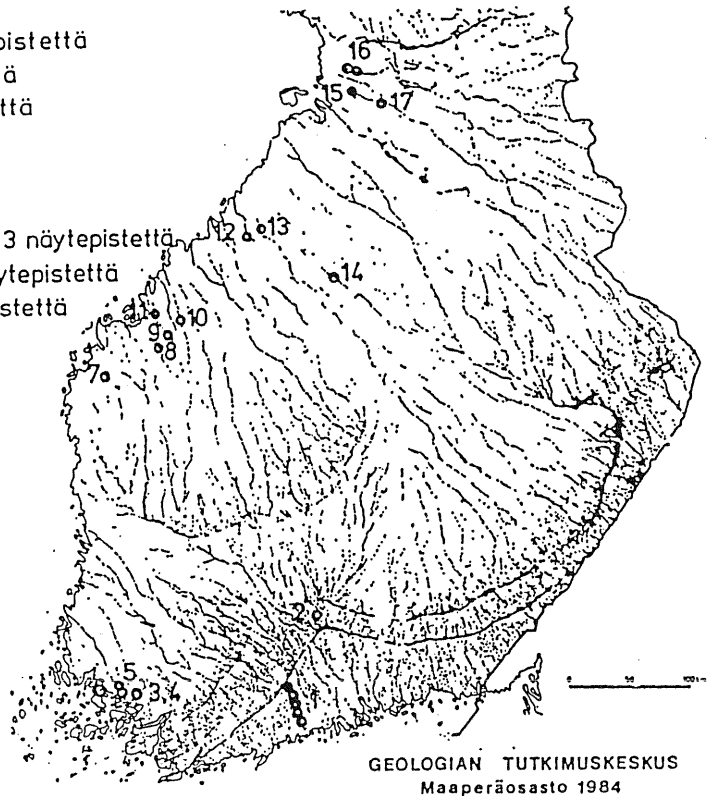
## 5.4 Alueelliset pohjavesitutkimukset

### 5.4.1 Näyteverkosto

Tutkimusalueet on valittu esiselvitysten perusteella alueilta, joilla on sekä veden- että soranhankintaongelmia. Tutkimusalueet ovat Helsingin, Turun, Vaasan, Kokkolan ja Oulun vesi- ja ympäristöpiirien alueella. Tutkittavia harjujaksoja oli vuoden 1985 lopussa 18 ja ne jakaantuivat 42 tutkittavaan valuma-alueeseen, joissa oli 86 pohjaveden tutkimuspistettä (kuva 3).

Kuva 1. MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS POHJAVETEEN -PROJEKTIN NÄYTTEENOTTOPAIKAT

1. TUUSULAN HARJUJAKSO, 19 näytepistettä
2. LAMMI, SALIVUORI, 3 näytepistettä
3. PAIMIO, NUMMENSUO, 3 näytepistettä
4. PAIMIO, SAARI, 5 näytepistettä
5. MASKU, 3 näytepistettä
6. RUSKO, 6 näytepistettä
7. MAALAHTI, KOLINA-KOLNEBACKA, 3 näytepistettä
8. YLISTARO, KOKKOLANKANGAS, 4 näytepistettä
9. ALAHÄRMÄ, EKOKANGAS, 4 näytepistettä
10. ALAHÄRMÄ, HAARUSKANGAS, 5 näytepistettä
11. ORAVAINEN, PENSALANKANGAS, 4 näytepistettä
12. KANNUS, HIETAKANGAS, 2 näytepistettä
13. SIEVI, HOLLANTI, 4 näytepistettä
14. HAAPAJÄRVI, PITKÄKANGAS, 3 näytepistettä
15. KIIMINKI, JÄÄLI, 9 näytepistettä
16. HAUKIPUDAS, ONKAMONSELKÄ, 7 näytepistettä
17. YLIKIIMINKI, PUOLIVÄLINHARJU, 3 näytepistettä



Kuva 3. Maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen -projektin näytteenottopaikat

Pohjavesinäytteet otetaan muovisista havaintoputkista, vedenottamoiden kaivoista, lähteistä ja soranoton synnyttämistä lammikoista.

Putket on asennettu harjuissa soranottoon nähden ylävirran puolelle (luonnontilaiselle alueelle vertailuputkeksi), soranottoalueelle ja soranoton alapuolelle.

Tutkimusalueet on luokiteltu soranottotilanteen perusteella kolmeen pääluokkaan: 1. luonnontilaiset alueet, 2. soranottoalueet, 3. alueet, joilta soranotto on jo päättynyt. Kaksi jälkimmäistä pääluokkaa on vielä jaettu alaryhmiin

sen perusteella millä tasolla soranotto on pohjavedenpintaan nähden. Taulukossa 3 a on tutkimusalueiden luokitus soranottotilanteen mukaan ja taulukossa 3 b on tutkimuspiSTEIDEN jakauma soranottotilanteen ja näytepaikan mukaan.

Taulukko 3 a. Tutkimusalueiden luokitus.

- 
- |     |   |
|-----|---|
| 1.0 | luonnontilainen harju   |
| 2.1 | pintamaa on poistettu, laajamittainen soranotto ei ole vielä alkanut                |
| 2.2 | laajamittainen soranotto on käynnissä pohjavedenpinnan yläpuolella                  |
| 2.3 | laajamittainen soranotto on käynnissä pohjavedenpinnan alapuolella                  |
| 3.1 | ollut aikaisemmin jonkin verran pohjavesipinnan yläpuolista soranottoa              |
| 3.2 | ollut aikaisemmin jonkin verran pohjavesipinnan alapuolista soranottoa              |
| 3.3 | ollut aikaisemmin laajalti pohjavesipinnan yläpuolista soranottoa                   |
| 3.4 | ollut aikaisemmin laajalti pohjavesipinnan alapuolista soranottoa                   |
| 3.5 | jälkihoidettu alue, jolta aikaisemmin on otettu soraa pohjavedenpinnan yläpuolelta  |
| 3.6 | jälkihoidettu alue, jolta aikaisemmin on otettu soraa pohjavedenpinnan alapuolelta. |
-

Taulukko 3 b. Näytepaikkojen lukumäärä luokiteltuna soranottotilanteen ja näytepaikkatyyppin mukaan.

Soran- otto- tilanne	Näytepaik- kojen luku- määrä	Havainto- putkia	Pohjavesi- lammikoita	Kuilu- kaivoja	Läh- teitä	
	%					
1,0	15	17,4	11	-	3	1
2,1	3	3,5	1	-	1	1
2,2	6	7,0	1	-	4	1
2,3	5	5,8	-	5	-	-
3,1	4	4,7	3	-	1	-
3,2	5	5,8	1	3	1	-
3,3	3	3,5	1	-	2	-
3,4	41	47,7	8	20	10	3
3,5	2	2,3	2	-	-	-
3,6	2	2,3	-	1	1	-

#### 5.4.2 Pohjavesinäytteenotto

Näytteitä otetaan neljä kertaa vuodessa: talvinäyte, jolloin pohjavesiolosuhteet ovat melko stabiilit ja lammikoissa jääpeite, keväänäyte, jolloin pohjavesipinnat ovat korkeimmillaan, kesänäyte, jolloin pohjavesipinnat ovat alhaalla sekä syksynäyte kun syyssateet ovat nostaneet pohjavesipinnan. Muutamista tutkimuspisteistä on otettu näytteitä tiheämmin, mutta varsinaisesti tihennetty näytteenotto alkoi vuoden 1986 alusta.

Näytteenotto alkoi vuoden 1985 helmikuussa Turun vesipiiristä. Pumppauksessa käytettiin aluksi auton vesipumppuja, mutta niiden käyttöepävarmuuden ja hankaluuden vuoksi siirryttiin keväänäytteenotossa venepumppujen käyttöön. Peräkkäin kytketyillä pumpuilla saatiin tarpeellinen nostokorkeus ja näytteet saadaan syvimmästäkin putkesta (pohjavedenpinta 18,8 m).

Putkista näytteet otetaan niistä syvyyksistä, joissa Maa ja Vesi Oy:n tekemän virtausnopeusmittauksen mukaan on suurin virtausnopeus (Maa ja Vesi Oy, 1985a).

Lammikoista otetaan yksi näyte, kun lammikon syvyys on alle 2 m. Tällaisia lammikoita oli vuoden 1985 tutkimuksissa kolme kappaletta. 2 - 3 m syvistä lammikoista otetaan kaksi näytettä, 1 m pinnasta ja 1 m pohjasta. Näitä lammikoita oli yhteensä 18. Yli 5 m syvistä lammikoista otetaan kolme näytettä: 1 m pinnasta ja 1 m pohjasta ja yksi näyte niiden välistä, näitä lammikoita oli kaikkiaan 3. Tutkimuksen syvimmät lammikot 12 m ja 13 m ovat Turun vesipiirin alueella.

Kaikkia lammikoita ei ole vielä ehditty luodata ja kartoittaa tarkasti, mutta suuntaa antavat luotaukset on tehty.

Näytteenoton hoitaa piirien henkilökunta muualla paitsi Helsingin vesipiirin alueella, missä näytteet ottaa GTK:n henkilökunta.

## 6 TUTKIMUSALUEET JA VESIANALYYSITULOKSET

### 6.1 Yleistä

Tässä luvussa esitellään tutkimusalueet, niiden geologiset pääpiirteet sekä vedenlaatuun mahdollisesti vaikuttavat muut tekijät. Vuoden 1985 vedenlaatutiedot on esitetty aikasarjakuvina ja taulukoina. Lisäksi ovat erillisessä liiteosassa kunkin näytepaikan analyysitaulukot kokonaisuudessaan sekä kartat näytepaikoista ja valuma-alueista. Liiteosassa on esitelty myös ns. erikoisnäytteet, jotka on otettu näytepaikoista, joissa vedenlaatuun vaikuttaa selvästi jokin muu tekijä soranoton lisäksi. Erikoisnäytetiedot eivät ole mukana koko aineiston tilastollisessa käsittelyssä.

Aikasarjakuvien pitoisuusakselin skaalauksessa on käytetty ionikohtaista asteikkoa, jossa minimiarvona on aineiston todellinen pienin arvo ja maksimiarvona vastaavasti suurin arvo. Asteikot on jaettu näiden arvojen väliltä kymmeneen osaan eikä lukuarvoja ole pyöristetty tasaluvuiksi.

Lysimetritutkimusten tulokset käsitellään alueittain, erikseen Tuusulan alueen ja Lammin alueen tulokset. Pohjavesitutkimusten tulokset käsitellään vesi- ja ympäristöpiireittäin ja valuma-alueittain.

### 6.2 Lysimetritutkimusten alueet ja ionikohtaiset tulokset

#### 6.2.1 Alueet

##### Tuusula

Tuusulan tutkimusalue sijaitsee harjujaksolla, joka ulottuu Helsingin itäpuolelta Tuusulan ja Nurmijärven kuntien kautta Hyvinkäälle. Lysimetrikenttä on Kapulasillanmäki -nimisessä paikassa Tuusulan Rusutjärven kylässä (liiteosan sivut 25 - 26). Harju on tässä kohdassa luonnontilainen. Puusto on täysikasvuista mäntymetsää. Aluskasvillisuus on sammalta ja varpukasveja (mustikka ja puolukka). Harjuaines on silmämääräisesti arvioituna soravaltaista, ei kovin hyvin lajittunutta. Rinteessä on rantaterasseja, joissa on suurehkoja pyöristyneitä lohkareita hienorakeisessa matriksissa (Si, Hk). Harjun keskellä on jyrkkärinteinen kalliosydän. Harjulla on vähän liikennöity metsätie. Tutkimusalueesta noin yhden kilometrin päässä pohjoiseen on Terrisuon kaatopaikka. Tämän pohjavesillä ei ole todettu olevan yhteyttä tutkimusalueen pohjavesiin.

Maannos on silmämääräisesti arvioituna hyvin muodostunut. Kerrokset ovat ohuehkoja, mutta selvästi havaittavia. Karikekerros on 4 - 5 cm paksu, humuskerros 1 - 2 cm, uuttumiskerros 3 - 5 cm ja rikastumiskerros 20 - 35 cm. Juuristo kulkee lähellä pintaa (alle 1/2 m) joitakin yksittäisiä juuria

lukuunottamatta. Puusto vaikuttaa huonokuntoiselta, neulasia on vähän. Pohjavesi on lysimetrikentän kohdalla noin 20 m:n syvyydellä.

#### Lammi

Tutkimusalue on II-Salpausselän vyöhykkeellä Lammin kirkonkylän itäpuolella Pääjärven ja Kuurikanjärven kautta kulkevan harjujakson Salivuori-nimisellä kumpareella, joka kohoaa ympäristöstä noin 25 m (120 - 145 m mpy) (liiteosan sivut 85 - 86). Sen länsireunalla on suppa, joka on noin 10 m syvä, 100 m pitkä (etelä-pohjoissuunta) ja 20 m leveä. Puusto on kuusivaltaista ja aluskasvillisuus heinää. Puuston kunto vaikuttaa huonolta, neulasia on vähän ja nekin paikoin ruskeita. Harjuaines on soravaltaista ja ainakin ydinosassa hyvin lajittunutta. Pinnalta aines on voimakkaasti rapautunutta, moreenimaista, ilmeisesti mineraalikoostumuksesta johtuen. Tämä selittää myös kasvillisuuden laadun.

Maannos on paksu (yli 1/2 m), ja siitä näyttää uuttumiskerros puuttuvan kokonaan. Rauta- ja mangaanisaaostumia on paljon, varsinkin syvälle ulottuvien puunjuurien ympärillä. Harjun sivuitse kulkee vähän liikennöity tie maalaistaloon. Lysimetrikenttä on tien vierellä korkeudella noin 120 m mpy. Pohjavesi on havaintoputkessa noin 10 m syvällä. Alueella alkaa soranotto v. 1987 aikana.

#### 6.2.2 Lysimetrinäytteiden ionikohtaiset tulokset

Tulosten esittelyn yhteydessä on lyhyt kirjallisuusselvitys kunkin ionin riippuvuustekijöistä ja muutamia kemiallisfysikaalisia ominaisuuksia. Selostukset perustuvat teokseen Kabata-Pendias, Pendias, 1984; Coyghtrey, Jackson, Thorne, 1983; Faust, Aly, 1981; Gieseking (ed), 1975; Hutzinger (ed), 1984; Sarvyer, McCarthy, 1978; Scheffer, Schachtschabel, 1976 Schachtschabel, 1976

Tuusulan lysimetriyksiköstä (H334) on esitetty 0,4 metrin syvyydessä olevan maannoslysimetrin, 0,4 metrin syvyydessä häirityssä sorakerroksessa olevan lysimetrin, alueen pohjaveden (19 m syvyydessä) sekä alueen sadeveden ionien pitoisuudet samassa aikasarjakuvassa. Lammin lysimetriyksiköstä (H413) on esitetty 0,8 metrin ja 1,5 metrin syvyydestä olevien maannoslysimetriensä sekä 0,15 metrin syvyydestä häirityssä sorakerroksessa olevan lysimetrin ja alueen pohjaveden (11 m syvyydessä) eri pitoisuudet samassa aikasarjakuvassa.

Tuusulan maannoslysimetri on rikastumiskerroksen yläosassa, jossa ylempää uuttuneet aineet ovat vielä liuenneessa muodossa. Kuvista voidaan seurata vuodenaikaisvaihteluja, ei niinkään pohjaveteen kulkeutuvia ainesmääriä. Lysimetrin läheisyydessä on huonokuntoisia puita, joiden vaikutus tuloksiin on arvatenkin suuri. Puiden huonokuntoisuuteen vaikuttavia happamoitumisilmiöitä (esim. alumiini) voidaan tarkastella myös näiden tulosten valossa. Parempi kuva pohjaveden laatuun vaikuttavista tekijöistä saadaan, kun lukuisten muiden, eri syvyyksille ja eri olosuhteisiin asennettujen lysimetriensä tulokset julkaistaan.

## PH

Liuoksen pH on vetyionipitoisuuden negatiivinen logaritmi. Sillä kuvataan liuoksen happamuuden tai emäksisyyden intensiteettiä.

Luonnontilaisen sadeveden pH on luonnossa normaalisti välillä 5 - 6. Se määräytyy pääasiassa ilmakehästä veteen liuenneen ilmakehän hiilidioksidin muodostamasta hiilihaposta (tislattun veden pH tasapainossa ilmakehän hiilidioksidin kanssa on 5,6). Sadeveteen liukenee myös pieniä määriä rikki- ja typpioksideja, jotka muodostavat vahvoja mineraalihappoja.

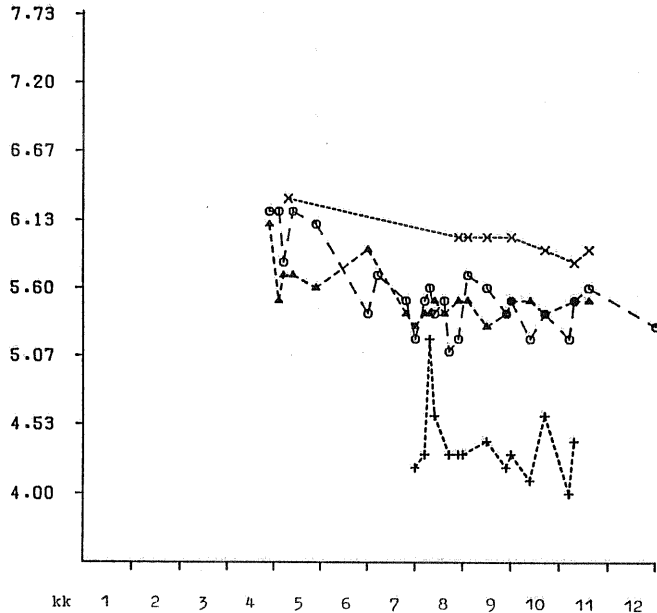
Happamissa sadevesissä pH on yleensä 4 - 4,5. Sen alhaisuus normaaliin verrattuna johtuu ihmisen aikaansaamasta rikki- ja typpioksidien määrän noususta ilmakehässä.

Maaperän vetyionit ovat peräisin sadeveden hapoista, mikrobien ja juurien aineenvaihdunnassa syntyvästä hiilihaposta, happamista orgaanisista hajoamistuotteista (orgaaniset hapot, hiilihapo), rautasulfidien hapettumisessa syntyvästä rikkihaposta ja lannoitteista. Maaveden pH määräytyy näiden happojen ja maaperän vahvojen mineraaliemästen keskeisistä reaktioista.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4.-31.12.1985

	min	max
Maannoslysimetri:	5,1	6,2
Vertailulysimetri:	5,3	6,1
Pohjavesi:	5,8	6,3
Sadevesi:	4,1	5,3

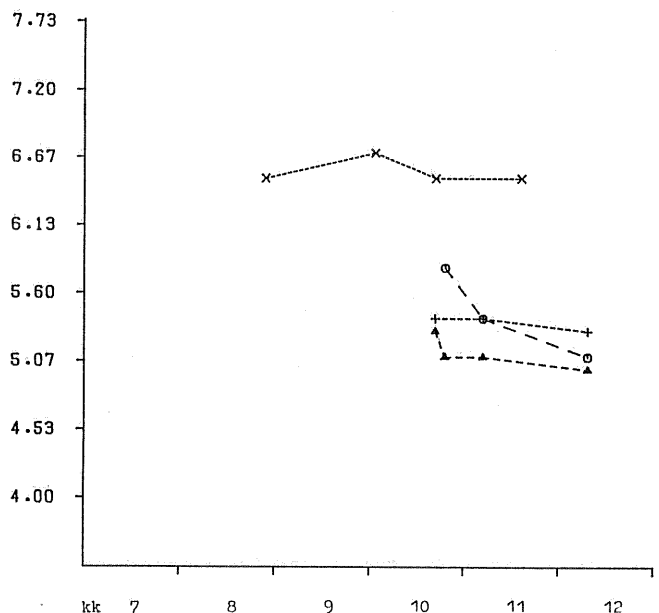


— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----+ sadevesi  
-----X pohjavesi

Kuva 4. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden pH-arvot

Lammi: 25.10.-31.12.1985  
28.4.-31.12.1985  
(pohjavesi)

	min	max
Maannoslysimetrit:	5,0	5,9
Vertailulysimetrit:	5,3	6,1
Pohjavesi:	6,5	6,7



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----X pohjavesi

Kuva 5. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden pH-arvot

## SÄHKÖNJOHTAVUUS

Liuoksen sähkönjohtavuudella mitataan liuoksen kykyä johtaa sähkövirtaa. Sähkövirtaa kuljettavat ionit, joiden määrästä ja laadusta sähkönjohtavuus riippuu. Maaveden sähkönjohtavuuteen vaikuttavat lähinnä liuoksen alkali- ja maa-alkalimetallikationit sekä bikarbonaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaatti-anionit.

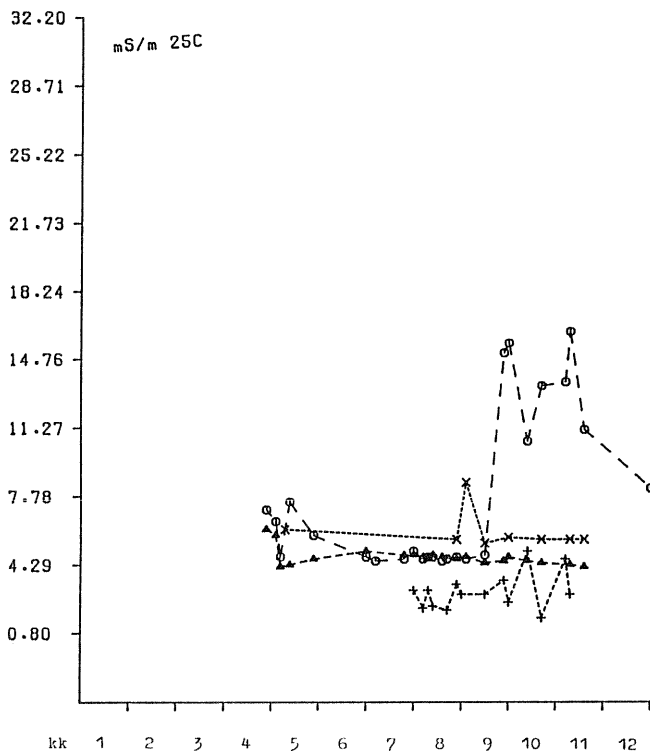
## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

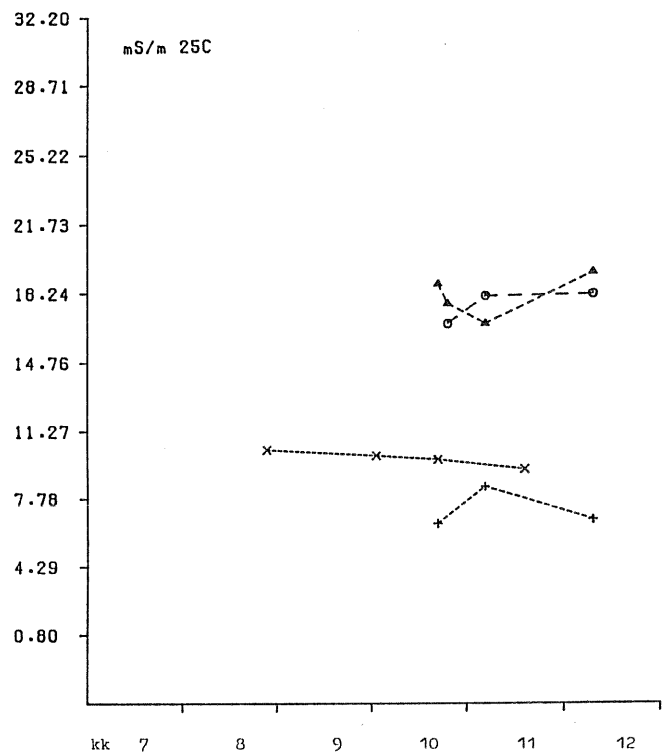
	min	max
Maannoslysimetri:	4,4 - 17,3	mS/m
Vertailulysimetri:	2,0 - 6,0	mS/m
Pohjavesi:	5,4 - 8,5	mS/m
Sadevesi:	1,6 - 5,0	mS/m

	min	max
Maannoslysimetri:	6,05 - 21,02	mS/m
Vertailulysimetrit:	3,08 - 9,48	mS/m
Pohjavesi:	9,02 - 10,0	mS/m



— — — — ○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
----- Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
----- + sadevesi  
----- X pohjavesi

Kuva 6. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden sähkönjohtavuusarvot



— — — — ○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
----- Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
----- + kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
----- X pohjavesi

Kuva 7. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden sähkönjohtavuusarvot

## KLORIDI

Klooria on maaperässä pääasiassa kloridi-ioneina. Sitä kulkeutuu maaveteen sadeveden mukana, eniten meren läheisyydessä. Mineraaliaineksen rapautumisessa liukenee veteen myös vähän kloridia. Kloridi-ionit kulkeutuvat helposti vajoveden mukana pohjaveteen, mutta kloridit voivat rikastua maaperän pintaosiin haihtumisen määrän ollessa suuri.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

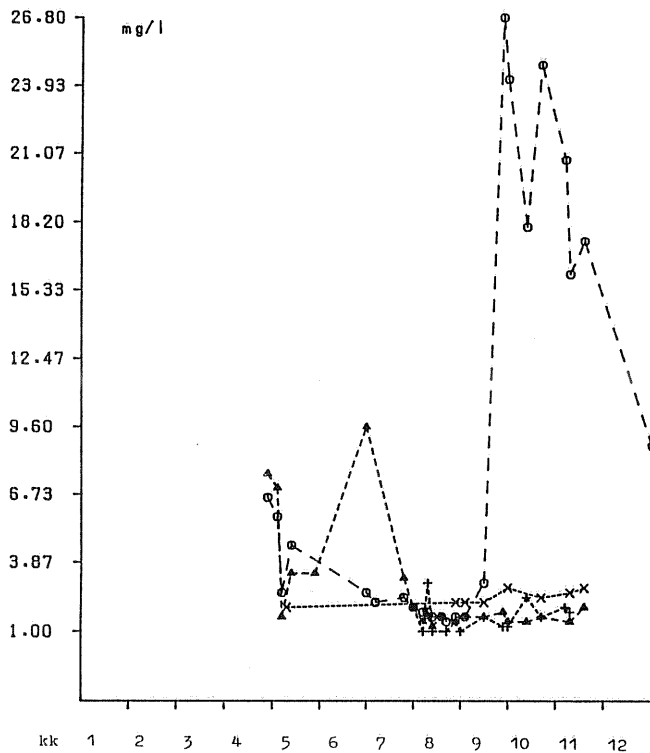
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

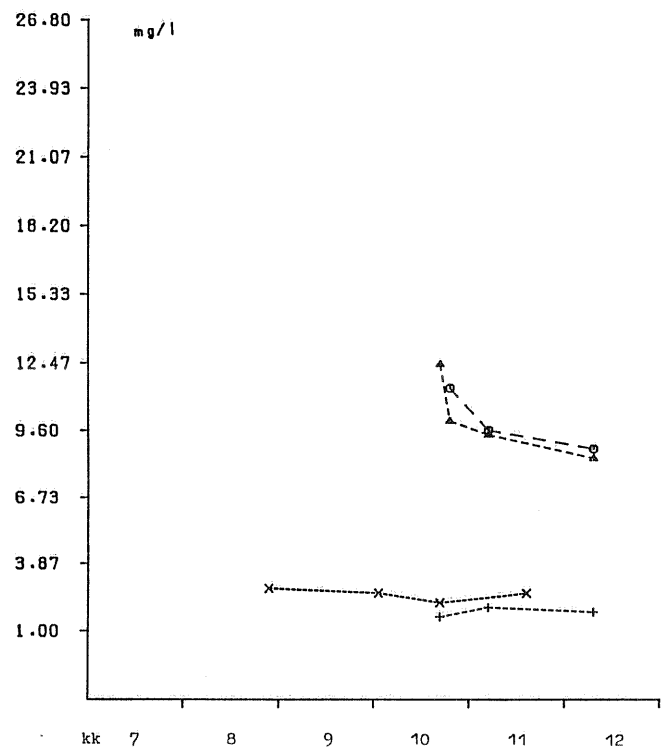
	min	max
Maannoslysimetri:	2	27 mg/l
Vertailulysimetri:	0,5	7,5 mg/l
Pohjavesi:	1,5	3,0 mg/l
Sadevesi:	0,5	3,0 mg/l

	min	max
Maannoslysimetri:	7,8	12,4 mg/l
Vertailulysimetrit:	1,6	2,0 mg/l
Pohjavesi:	2,2	2,6 mg/l



— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----+ sadevesi  
-----X pohjavesi

Kuva 8. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kloridipitoisuus



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----X pohjavesi

Kuva 9. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kloridipitoisuus



## KALIUMPERMANGANAATILUKU

Kaliumpermanganaattiluku ilmaisee veteen liuenneen hapettuvan orgaanisen aineksen määrää.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

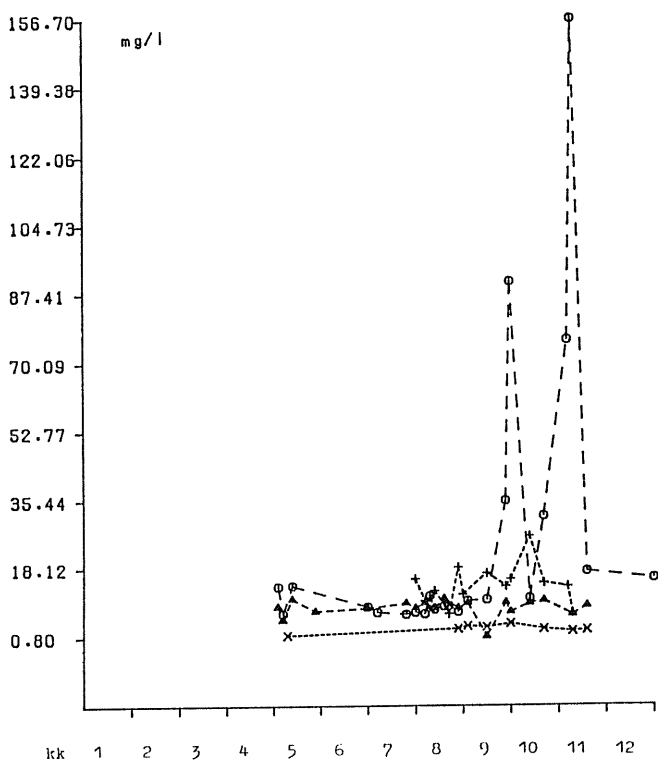
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

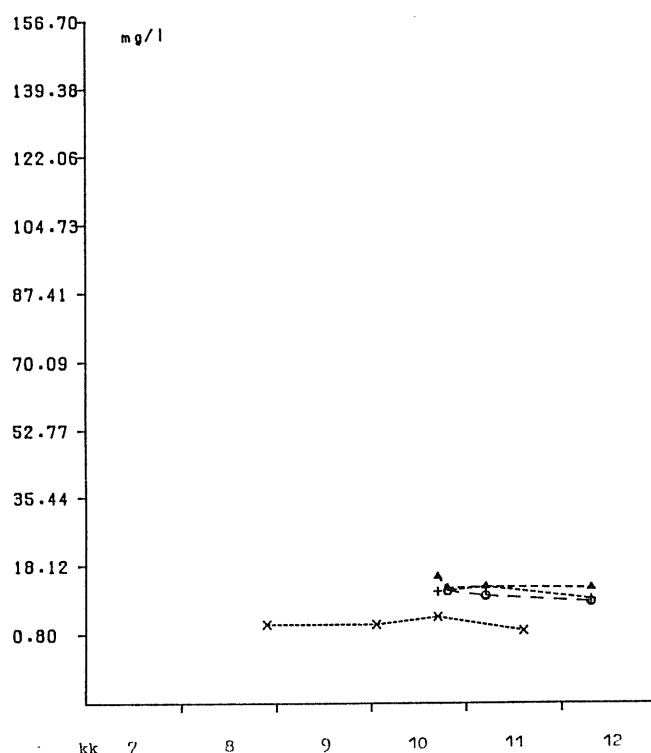
	min	max
Maannoslysimetri:	5	156
Vertailulysimetri:	1	10
Pohjavesi:	1	4
Sadevesi:	5	26

	min	max
Maannoslysimetrit:	7	20,4
Vertailulysimetrit:	6	15
Pohjavesi:	1	5



— — — — — ○ kollektori 0,4 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - △ kollektori, 0,4 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - + sadevesi  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 10. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kaliumpermanganaattiluku



— — — — — ○ kollektori 0,8 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - △ kollektori 1,5 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - + kollektori 0,15 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 11. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kaliumpermanganaattiluku

## TYPPI

Maaperän mineraaliaineksen typpipitoisuus on pieni. Ilmakehän typestä (N<sub>2</sub>) muodostuu typpiyhdisteitä biokemiallisissa, ei-biologisissa (esim. sähkönpurkaukset) ja ihmisen aikaansaamissa reaktioissa. Maaperän pintaosissa pääosa typestä on orgaanisina yhdisteinä; syvemmällä epäorgaanisissa yhdisteissä. Epäorgaanisesta typestä suurin osa on ammonium- ja nitraatti-ioneina, jotka syntyvät osaksi orgaanisten typpiyhdisteiden hajotessa mikro-organismien avulla. Nitrifikaatiossa ammoniumioni hapettuu nitriitin kautta nitraatiksi. Nitraatti huuhtoutuu helposti maaveden mukana.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

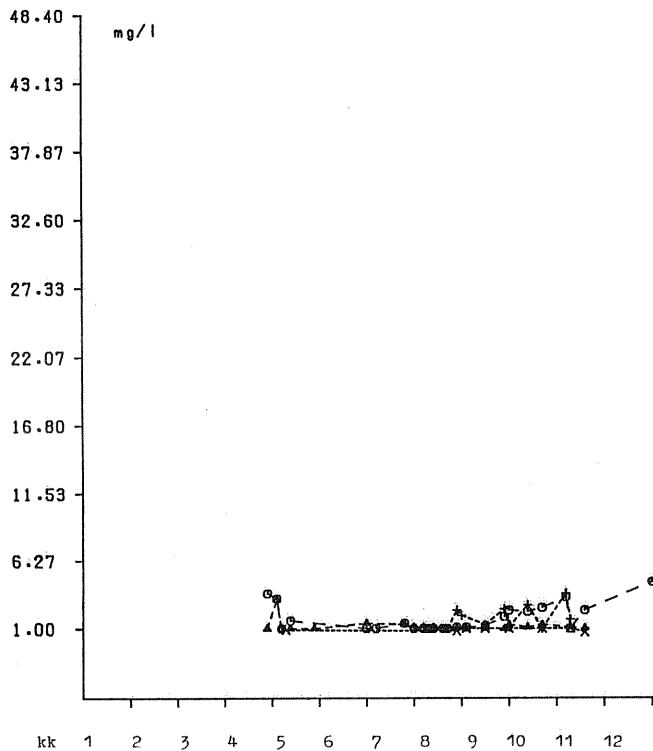
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

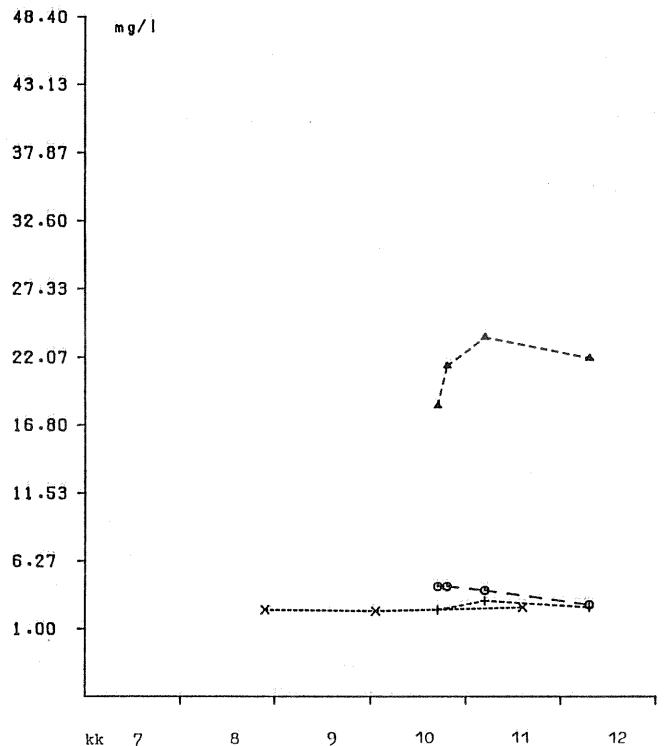
	min	max
Maannoslysimetri:	alle 1,0	23,6 mg/l
Vertailulysimetri:	alle 1,0	7,6 mg/l
Pohjavesi:	alle 1,0	
Sadevesi:	alle 1,0	3,7 mg/l

	min	max
Maannoslysimetri:	alle 1,0	42,8 mg/l
Vertailulysimetrit:	alle 1,0	13,8 mg/l
Pohjavesi:	1,9	2,4 mg/l



— — — — ○ kollektori 0,4 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - △ kollektori, 0,4 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - + sadevesi  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 12. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden nitraattipitoisuus



— — — — ○ kollektori 0,8 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - △ kollektori 1,5 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - + kollektori 0,15 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 13. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden nitraattipitoisuus

## RIKKI

Magma- ja metamorfisissa kivissä rikki on enimmäkseen sulfideina, sedimenttikivissä sulfaatteina. Rapautumisessa sulfidit hapettuvat sulfaateiksi. Ilmakehästä kulkeutuva rikki voi olla paitsi sulfaattisuoloina myös rikkihappona. Maaperässä suuri osa rikistä on orgaanisesti sitoutuneena. Epäorgaaninen rikki on pääasiassa liuenneena tai adsorboituneena sulfaattina. Hapettomissa olosuhteissa syntyy vetysulfideja. Rikin yhdisteiden muutokset tapahtuvat osaksi mikro-organismien avulla. Sulfaatti huuhtoutuu helposti heikosti happamassa (pH 6) maaperässä, sitä happamammassa ympäristössä sulfaatti adsorboituu. Maaperän poikkeuksellisen suuren happamuuden aiheuttajia ovat rikkihapon vetyionit.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

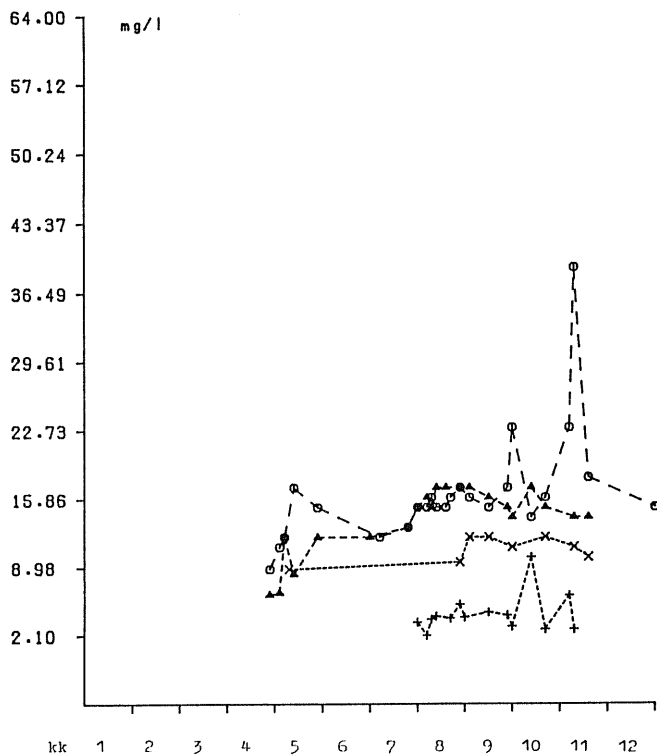
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

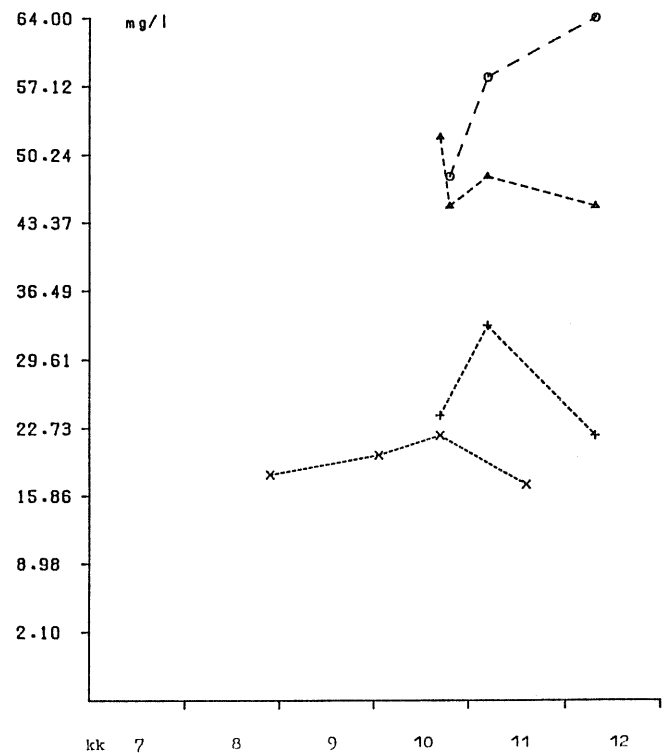
	min	max
Maannoslysimetri:	9,9	39,0 mg/l
Vertailulysimetri:	6,0	17,0 mg/l
Pohjavesi:	8,0	12,0 mg/l
Sadevesi:	2,0	10,0 mg/l

	min	max
Maannoslysimetrit:	31,0	68,0 mg/l
Vertailulysimetrit:	9,0	33,0 mg/l
Pohjavesi:	19,0	22,0 mg/l



— — — — ○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - - + sadevesi  
- - - - - X pohjavesi

Kuva 14. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden sulfaattipitoisuus



— — — — ○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - + kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - - X pohjavesi

Kuva 15. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden sulfaattipitoisuus

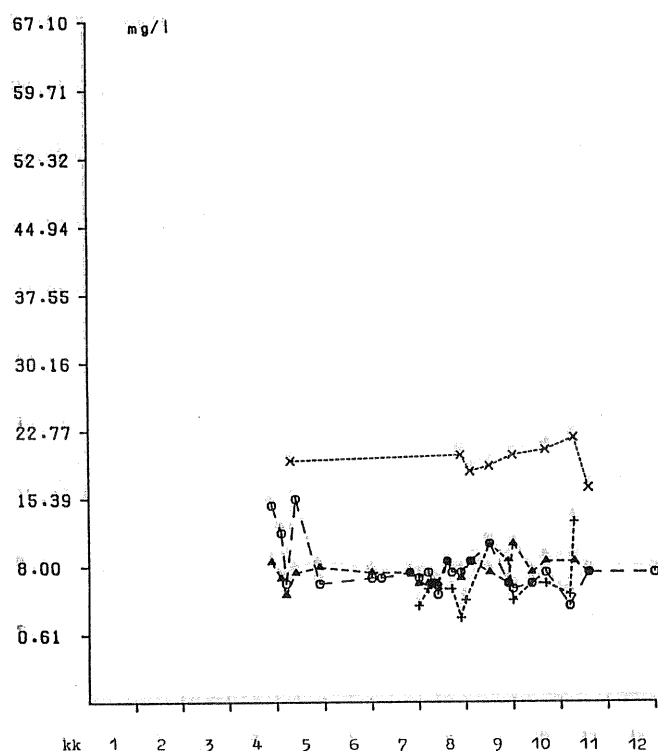
## HIILI

Maaveteen joutuu hiilidioksidia ilmakehästä ja orgaanisen aineksen hajoamisesta. Veteen liuenneesta hiilidioksidista muodostuu hiilihappoa. Hiilihapon liuottaessa mineraaleja, varsinkin karbonaatteja, muodostuu veteen bikarbonaatti-ioneja. Alkaliniteetilla mitataan haponneutralisointikykyä. Bikarbonaatit muodostavat alkaliniteetin pääosan muissa kuin hyvin emäksisissä vesissä. Bikarbonaatti huuhtoutuu helposti.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

	min	max
Maannoslysimetri:	3,1	15,2 mg/l
Vertailulysimetri:	3,9	8,5 mg/l
Pohjavesi:	16,5	21,9 mg/l
Sadevesi:	2,5	12,8 mg/l

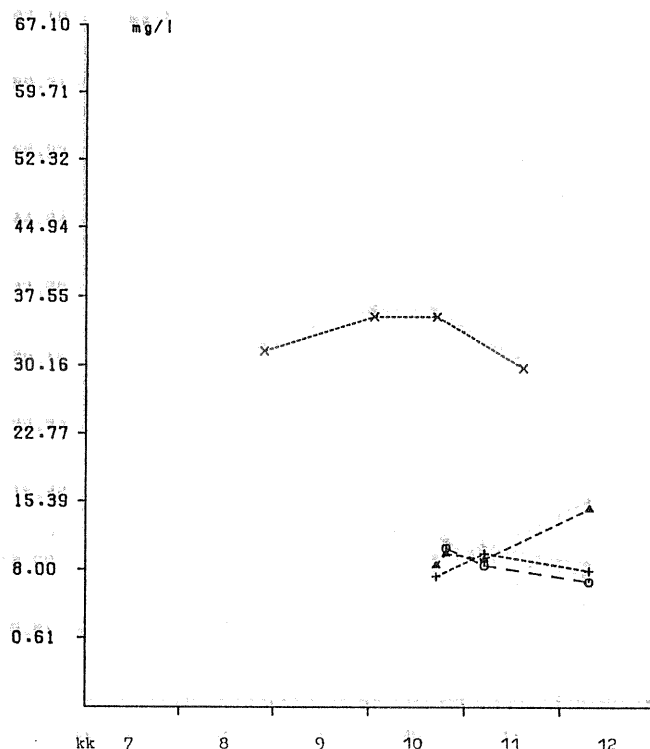


— — — — ○ kollektori 0,4 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - Δ kollektori, 0,4 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - + sadevesi  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 16. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden bikarbonaattipitoisuus

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

	min	max
Maannoslysimetri:	4,3	15,9 mg/l
Vertailulysimetri:	3,7	9,7 mg/l
Pohjavesi:	26,0	35,1 mg/l



— — — — ○ kollektori 0,8 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - Δ kollektori 1,5 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - + kollektori 0,15 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 17. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden bikarbonaattipitoisuus

## KALSIUM

Kalsiumia on maaperässä etenkin maasälpä- ja karbonaattimineraaleissa. Kalsiumkarbonaatti (kalsiitti) liukenee suhteellisen helposti ja kalsiumpitoiset maasälvät rapautuvat natriumsälpää herkemmin. Kalsium-ionit sitoutuvat liuoksesta osaksi melko lujasti erityisesti hienorakeisten mineraalien pintaan ns. vaihtuviksi ioneiksi. Kun liuos happamoituu, vaihtuvat kalsiumionit enemmän tai vähemmän vety- ja alumiini-ioneihin. Kalsiumionien huuhtoutuessa pois täydennystä nopeammin maaperän happamuutta puskuroiva kapasiteetti vähenee.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

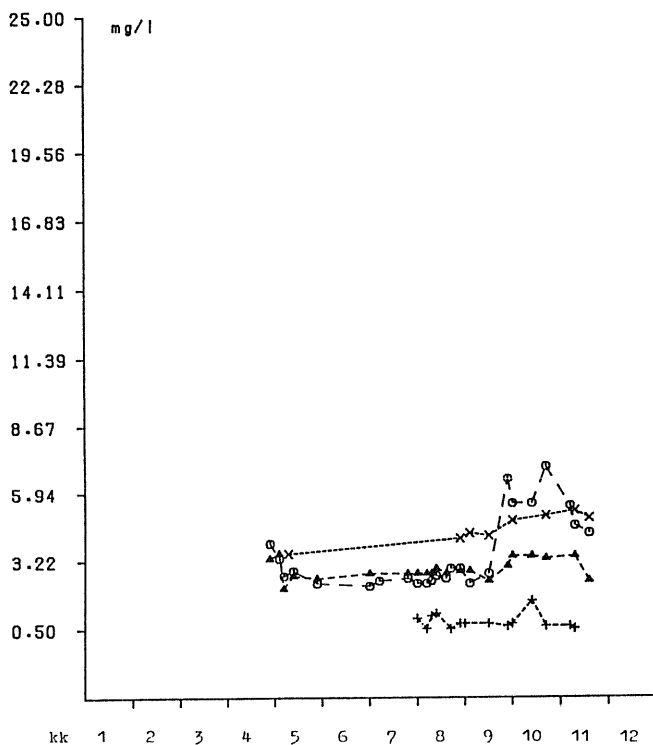
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

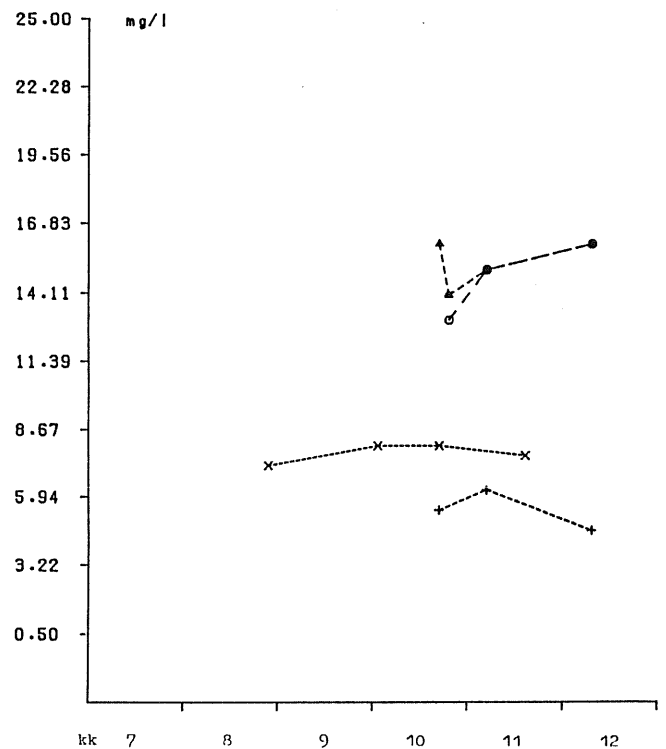
	min	max
Maannoslysimetri:	2,2 -	7,0 mg/l
Vertailulysimetri:	3,5 -	6,2 mg/l
Pohjavesi:	3,5 -	5,2 mg/l
Sadevesi:	0,5 -	1,6 mg/l

	min	max
Maannoslysimetrit:	8,4 -	17 mg/l
Vertailulysimetrit:	4,6 -	9,8 mg/l
Pohjavesi:	7,2 -	8,0 mg/l



— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----+ sadevesi  
-----X pohjavesi

Kuva 18. Tuusulan lysimetrivesien, sade-  
veden ja pohjaveden kalsium-  
pitoisuus



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----X pohjavesi

Kuva 19. Lammin lysimetrivesien, sade-  
veden ja pohjaveden kalsium-  
pitoisuus

## KOKONAISKOVOUUS

## Analyysitulokset:

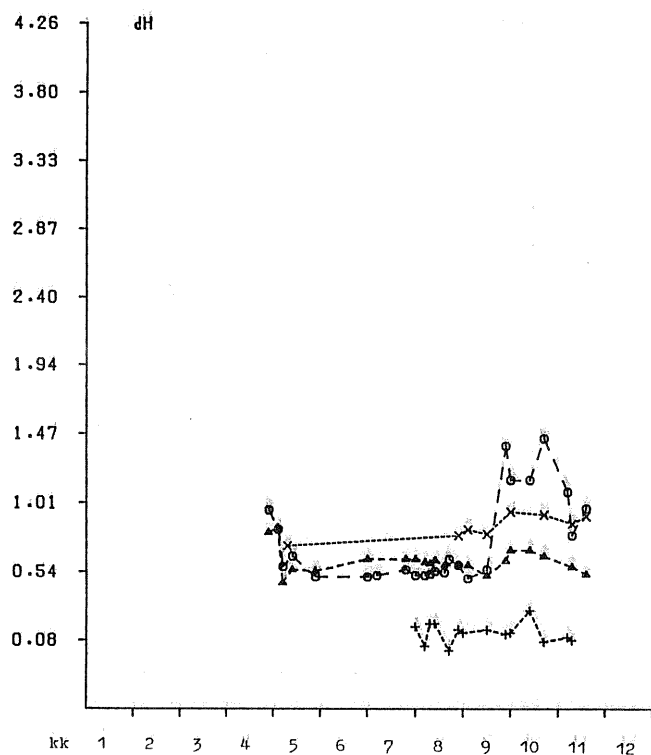
Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

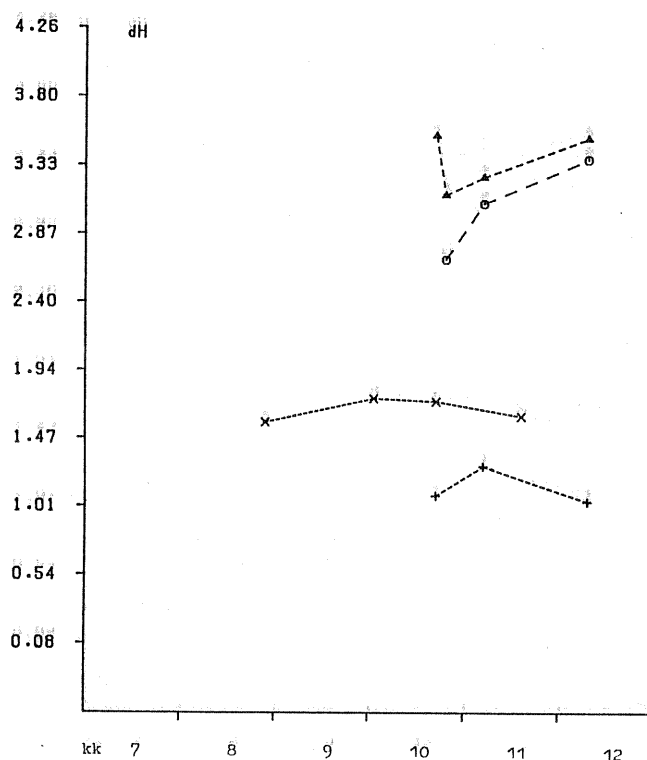
min max  
 Maannoslysimetri:  
 Vertailulysimetri:  
 Pohjavesi:  
 Sadevesi:



— — — — ⊖ kollektori 0,4 m maan-  
 pinnasta, maannoskerros  
 - - - - - Δ kollektori, 0,4 m maan-  
 pinnasta, ei maannosta  
 - - - - - + sadevesi  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 20. Tuusulan lysimetrivesien, sade-  
 veden ja pohjaveden kokonais-  
 kovuus

min max  
 Maannoslysimetri:  
 Vertailulysimetri:  
 Pohjavesi:



— — — — ⊖ kollektori 0,8 m maan-  
 pinnasta, maannoskerros  
 - - - - - Δ kollektori 1,5 m maan-  
 pinnasta, maannoskerros  
 - - - - - + kollektori 0,15 m maan-  
 pinnasta, ei maannosta  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 21. Lammin lysimetrivesien, sade-  
 veden ja pohjaveden kokonais-  
 kovuus

## MAGNESIUM

Myös magnesiumipitoisia mineraaleja maaperässä on paljon, mm. kiilteissä ja dolomiitissa. Magnesiumin käyttäytyminen muistuttaa kalsiumin käyttäytymistä, joskin magnesiumin määrä on yleensä pienempi.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

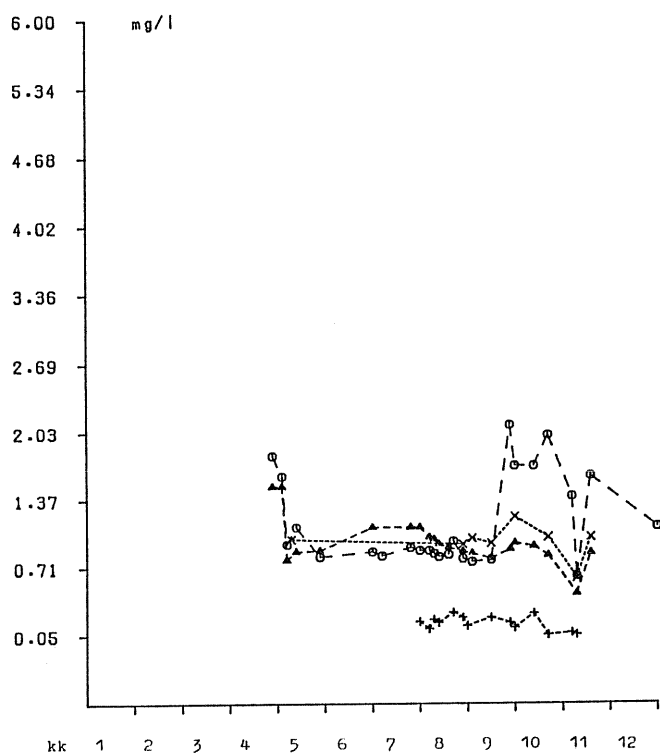
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

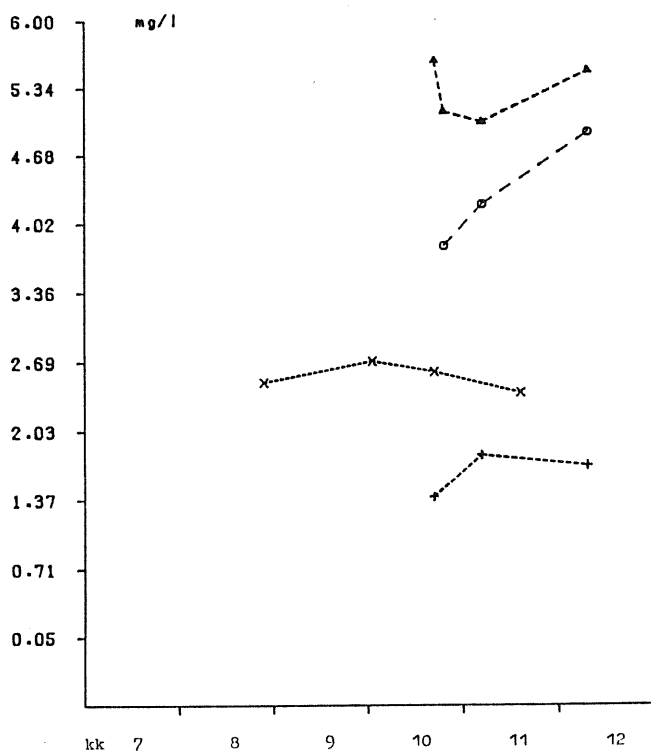
	min	max
Maannoslysimetri:	0,7 - 2,2 mg/l	
Vertailulysimetri:	0,5 - 1,5 mg/l	
Pohjavesi:	0,6 - 1,4 mg/l	
Sadevesi:	0,1 - 0,6 mg/l	

	min	max
Maannoslysimetrit:	2,1 - 5,8 mg/l	
Vertailulysimetrit:	0,6 - 2,7 mg/l	
Pohjavesi:	2,2 - 2,7 mg/l	



— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - -△ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - -+ sadevesi  
- - - - -X pohjavesi

Kuva 22. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden magnesiumipitoisuus



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - -△ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - -+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - -X pohjavesi

Kuva 23. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden magnesiumipitoisuus

## NATRIUM

Maaperän natrium on peräisin lähinnä maasälpien rapautumisesta ja sadevedestä. Sen määrä lisääntyy meren läheisyydessä. Natriumsuoloista ja ioninvaihtoreaktioissa vapautuva natrium huuhtoutuu herkästi.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

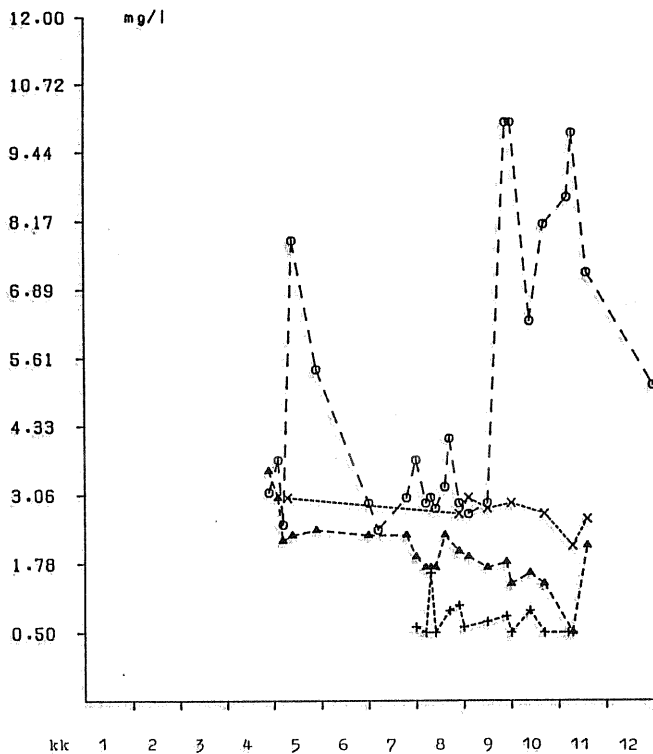
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

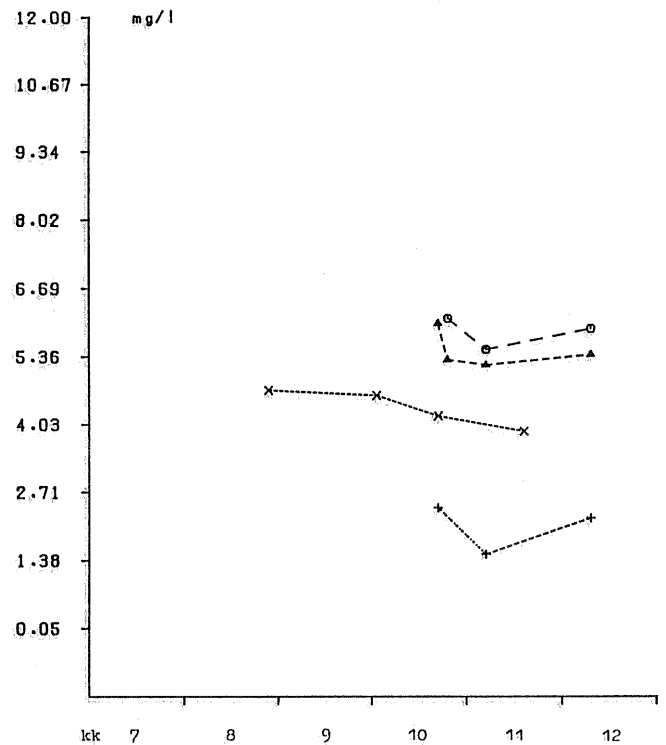
	min	max
Maannoslysimeetri:	2,4	10,0 mg/l
Vertailulysimeetri:	0,5	3,5 mg/l
Pohjavesi:	2,1	3,0 mg/l
Sadevesi:	0,5	1,6 mg/l

	min	max
Maannoslysimeetrit:	1,9	6,1 mg/l
Vertailulysimeetrit:	1,0	2,7 mg/l
Pohjavesi:	2,2	4,2 mg/l



— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----△ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----+ sadevesi  
-----X pohjavesi

Kuva 24. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden natriumpitoisuus



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----△ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----X pohjavesi

Kuva 25. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden natriumpitoisuus



## KALIUM

Mineraaliaineksessa on kaliumia eniten kalimaasälvissä ja kiilteissä. Maaperän kalium on peräisin paitsi mineraaliaineksen rapautumisesta myös sadevedestä ja kasvien hajoamisesta. Kalium sitoutuu voimakkaasti saviin ja vähäisemmin orgaaniseen ainekseen sekä Al- ja Fe-oksidiin ja hydroksideihin.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

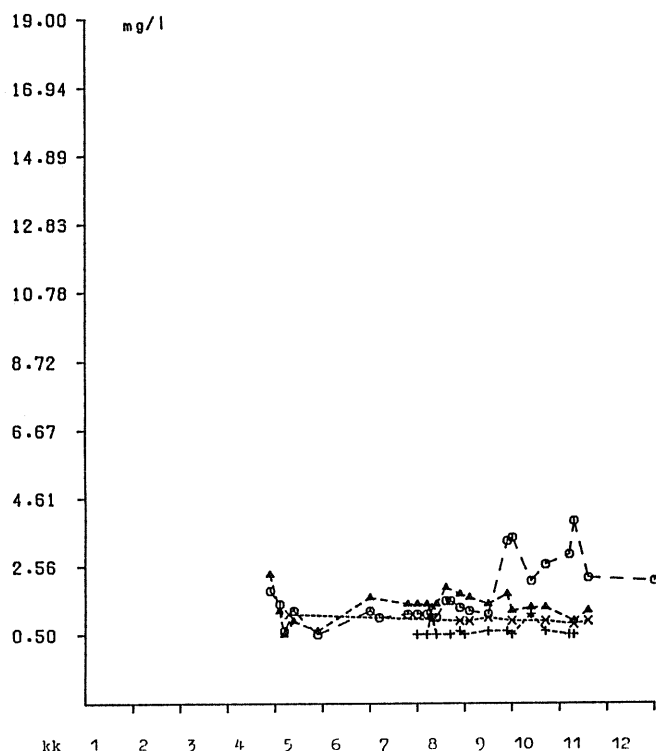
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

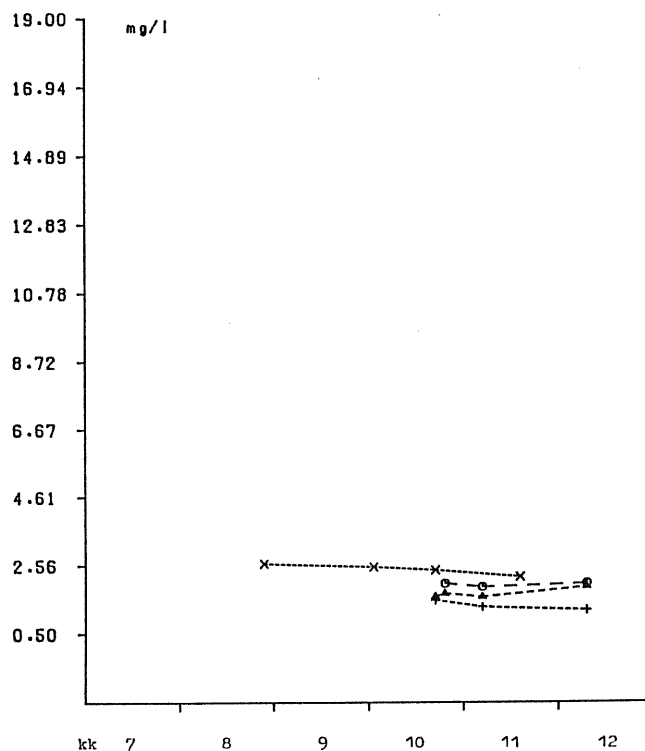
	min	max
Maannoslysimetri:	0,5 -	3,8 mg/l
Vertailulysimetri:	0,5 -	2,3 mg/l
Pohjavesi:	0,8 -	1,1 mg/l
Sadevesi:	0,05 -	1,1 mg/l

	min	max
Maannoslysimetrit:	1,4 -	2,0 mg/l
Vertailulysimetrit:	0,9 -	1,6 mg/l
Pohjavesi:	2,4 -	2,6 mg/l



— — — — ○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
----- Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
----- + sadevesi  
----- X pohjavesi

Kuva 26. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kaliumpitoisuus



— — — — ○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
----- Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
----- + kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
----- X pohjavesi

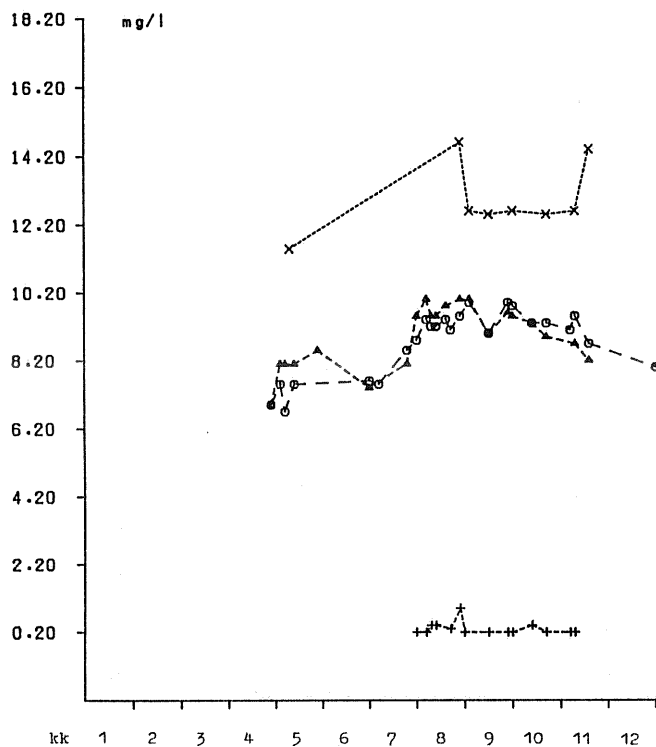
Kuva 27. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kaliumpitoisuus

## PII

Silikaattisiin sidoksiin sitoutumatonta eli vapaata  $\text{SiO}_2$ :ta on maaperässä amorfisessa muodossa sekä eriasteisesti kiteytyneenä. Maaveteen liuennut pii on ensin piihappona ja liuenneissa orgaanisissa yhdisteissä. Piihappomolekyylit ketjuuntuvat ja muodostavat kolloideja, joista osa huuhtoutuu pohjaveden ja osa saostuu Fe- ja Al-oksidiin ja -hydroksidien sekä orgaanisen aineksen kanssa.

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

	min	max
Maannoslysimeetri:	6,7	9,9 mg/l
Vertailulysimeetri:	6,9	10,0 mg/l
Pohjavesi:	12,5	12,6 mg/l
Sadevesi:	0,2	0,8 mg/l

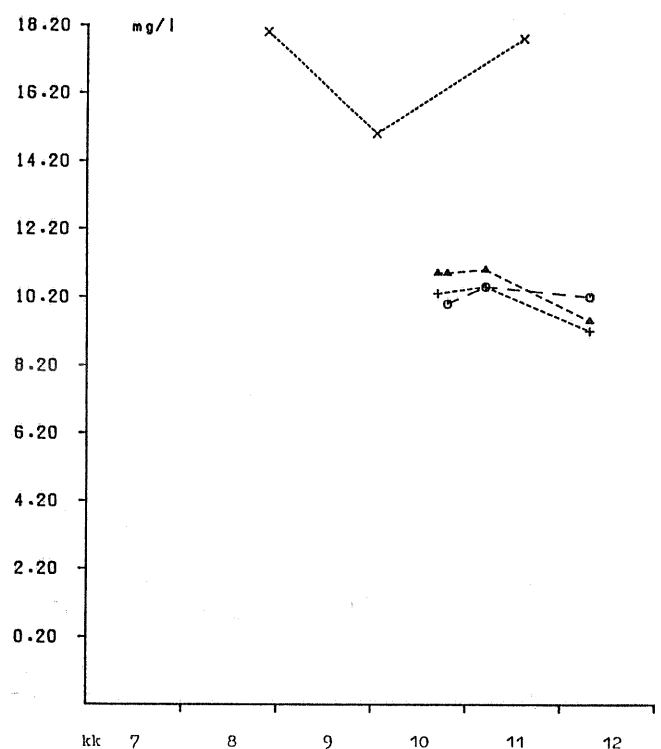


— — — — — ○ kollektori 0,4 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - △ kollektori, 0,4 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - + sadevesi  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 28. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden piidioksidipitoisuus

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
 28.4. - 31.12.1985  
 (pohjavesi)

	min	max
Maannoslysimeetrit:	5,9	11,0 mg/l
Vertailulysimeetrit:	6,5	10,6 mg/l
Pohjavesi:	14,8	15,2 mg/l



— — — — — ○ kollektori 0,8 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - △ kollektori 1,5 m maanpinnasta, maannoskerros  
 - - - - - + kollektori 0,15 m maanpinnasta, ei maannosta  
 - - - - - X pohjavesi

Kuva 29. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden piidioksidipitoisuus

## RAUTA

Rautaa liukenee pelkistävässä olosuhteissa etenkin ferroidina maaveteen, josta se kuitenkin saostuu vesipitoisina oksideina hapettavissa olosuhteissa. Rauta muodostaa orgaanisten aineiden kanssa sekä liukoisia että liukenemattomia yhdisteitä.

Rautapitoisuus ylitti määritysrajan vain muutamassa maannoslysimetrin syysnäytteessä. Rauta saostuu nopeasti, eivätkä sen muodostamat kolloidihiukkaset läpäise näytteiden käsittelyssä käytettyä suodatusta (0,45  $\mu\text{m}$  suodatinpaperi). Kevästä -86 alkaen rauta analysoidaan myös suodattamattomasta näytteestä.

## MANGAANI

Mangaanin käyttäytymistä säätelevät samat tekijät kuin raudan eli ennen kaikkea Eh-pH-olosuhteet.

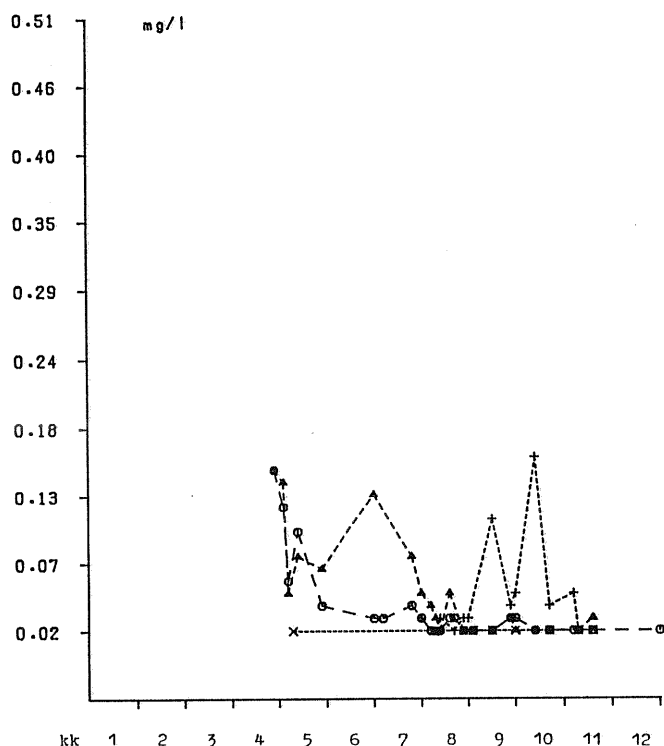
## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

	min	max
Maannoslysimetri:	0,02	0,15 mg/l
Vertailulysimetri:	0,02	0,15 mg/l
Pohjavesi:	alle	0,02 mg/l
Sadevesi:	alle	0,02 - 0,16 mg/l

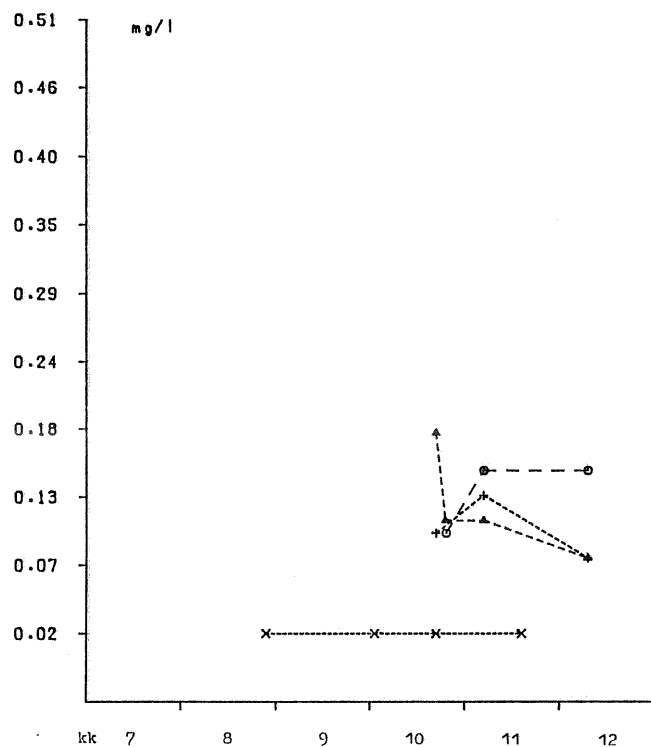
Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

	min	max
Maannoslysimetrit:	0,09	0,18 mg/l
Vertailulysimetrit:	alle	0,02 - 0,18 mg/l
Pohjavesi:	alle	0,02 mg/l



— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - -△ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - -+ sadevesi  
- - - - -X pohjavesi

Kuva 30. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden mangaanipitoisuus



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - -△ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - -+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - -X pohjavesi

Kuva 31. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden mangaanipitoisuus

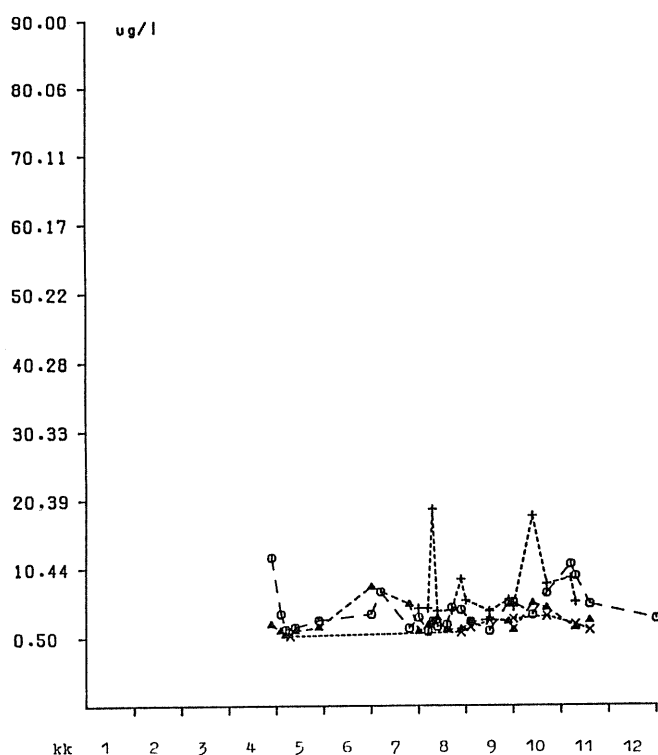
## KUPARI

Rapautumisessa vapautuva ja ilmakehästä tuleva kupari sitoutuu herkästi maaperään. Se on suhteellisen liikkumaton aine.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

	min	max	
Maannoslysimetri:	1,3	12	ug/l
Vertailulysimetri:	0,8	7,7	ug/l
Pohjavesi:	0,7	3,5	ug/l
Sadevesi:	4,2	19	ug/l

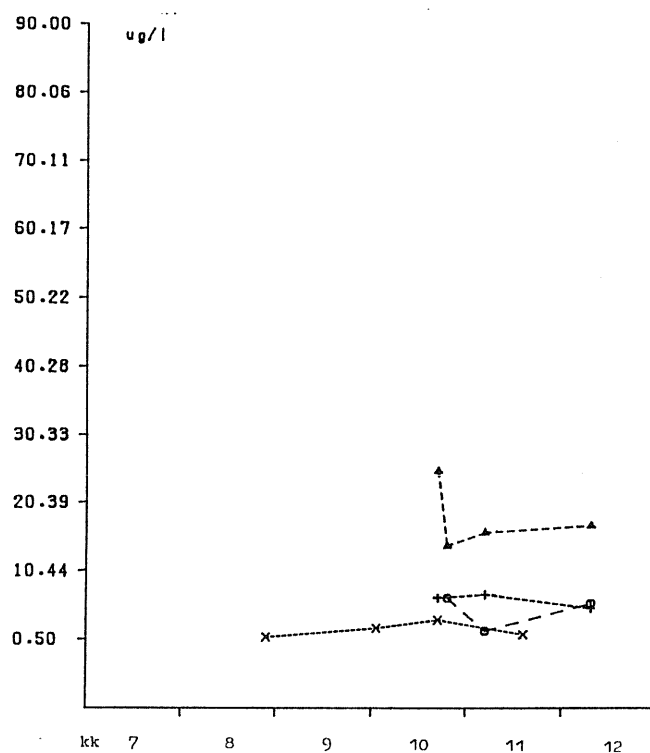


— — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----△ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----+ sadevesi  
-----X pohjavesi

Kuva 32. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kuparipitoisuus

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

	min	max	
Maannoslysimetrit:	6,5	25	ug/l
Vertailulysimetrit:	4,7	6,5	ug/l
Pohjavesi:	2,2	3,2	ug/l



— — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----△ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----X pohjavesi

Kuva 33. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden kuparipitoisuus

## SINKKI

Sinkkimineraalien rapautumisessa vapautuvat sinkki-ionit ovat liikkuvampia kuin monet muut raskasmetalli-ionit. Sinkkiä voi adsorboitua orgaaniseen ainekseen ja rikastua maaperän pintaosiin.

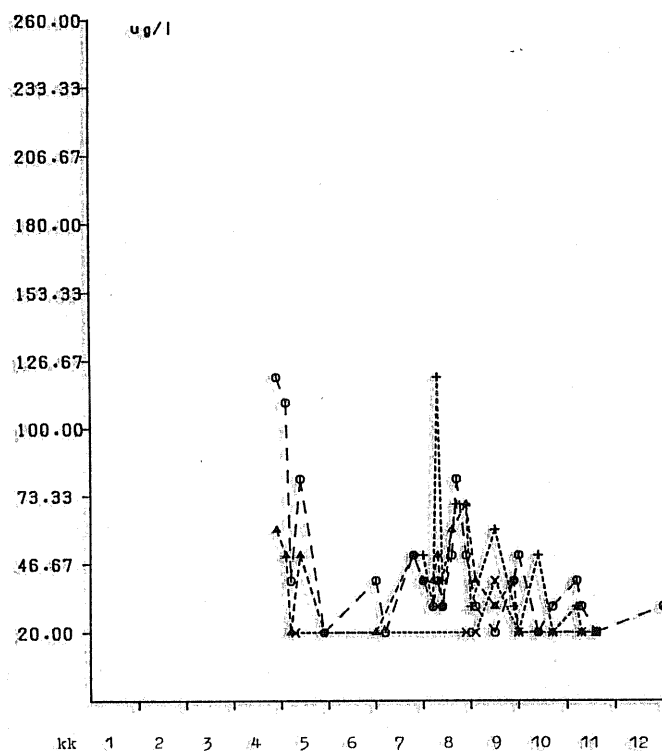
## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

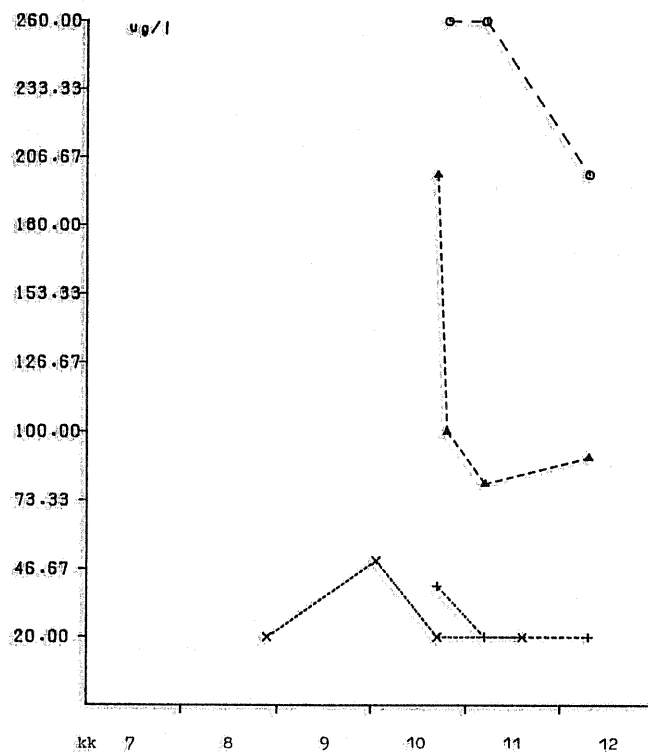
	min	max
Maannoslysimetri:	alle 20	120 ug/l
Vertailulysimetri:	alle 20	70 ug/l
Pohjavesi:	alle 20	40 ug/l
Sadevesi:	alle 20	120 ug/l

	min	max
Maannoslysimetrit:	20	260 ug/l
Vertailulysimetrit:	alle 20	60 ug/l
Pohjavesi:	alle 20	50 ug/l



— — — — —○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----△ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----+ sadevesi  
-----X pohjavesi

Kuva 34. Tuusulan lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden sinkkipitoisuus



— — — — —○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----△ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
-----+ kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
-----X pohjavesi

Kuva 35. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden sinkkipitoisuus

## NIKKELI

Nikkeliä liukenee eniten nikkelpitoisten sulfidien rapautumisessa. Vesiliuoksessa se on pysyvämpi kuin rauta tai mangaani. Sen liukoisuus on kääntäen verrannollinen pH-arvoon. Liuoksesta sitä voi saostua yhdessä rauta- ja mangaanioksidien kanssa.

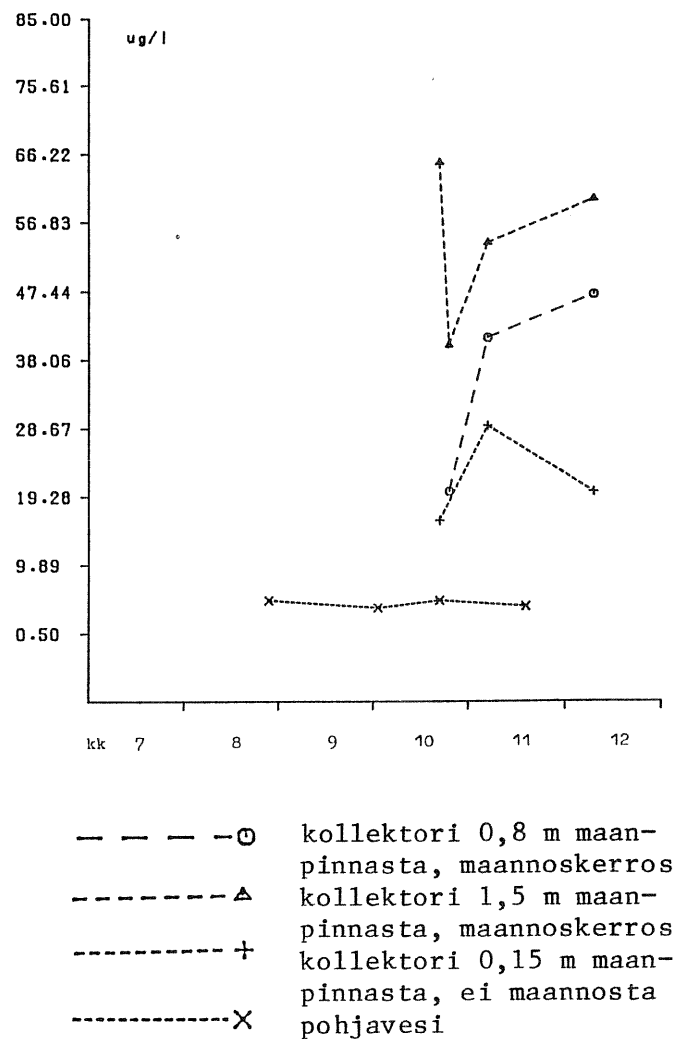
## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

	min	max
Maannoslysimetri:	0,7	3,4 ug/l
Vertailulysimetri:	0,6	2,8 ug/l
Pohjavesi:	0,5	2,0 ug/l
Sadevesi:	1,1	5,0 ug/l

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

	min	max
Maannoslysimetrit:	17,0	68,0 ug/l
Vertailulysimetrit:	15,0	27,0 ug/l
Pohjavesi:	2,0	7,5 ug/l



Kuva 36. Lammin lysimetrivesien, sadeveden ja pohjaveden nikkelpitoisuus

## LYIJY

Rapautumisessa vapautunut tai ilmansaasteena maaperään kulkeutunut lyijy sitoutuu nopeasti lujasti maaperään.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

	min	max	
Maannoslysimetri:	0 -	78	ug/l
Vertailulysimetri:	0 -	2	ug/l
Pohjavesi:	0 -	2	ug/l
Sadevesi:	0 -	6,5	ug/l



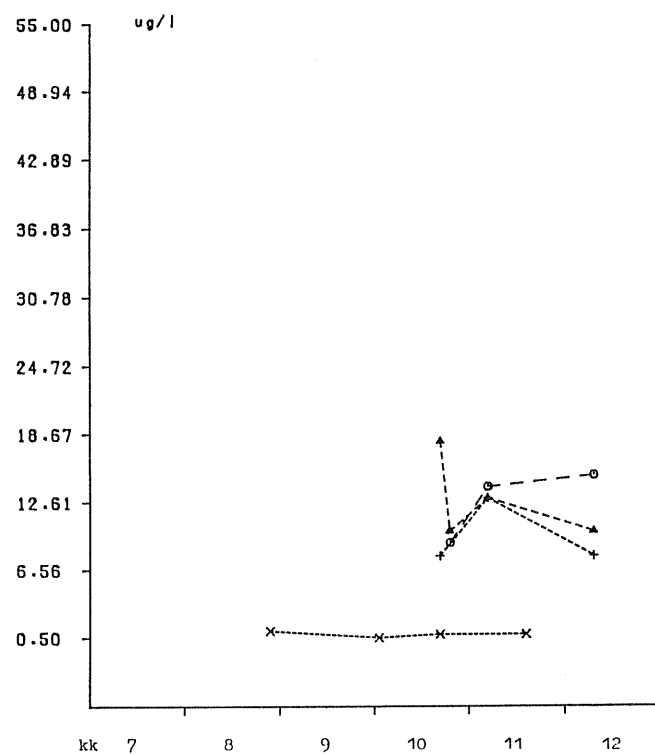
## KOBOLTTI

Kobolttipitoisten sulfidien rapautumisessa ja näin syntyneissä happamissa olosuhteissa kobolttia voi liueta veteen. Se kuitenkin adsorboituu herkästi maaperän rauta- ja mangaanioksideihin.

## Analyysitulokset:

Lammi: 25.10. - 31.12.1985  
28.4. - 31.12.1985  
(pohjavesi)

	min	max	
Maannoslysimetrit:	7	- 18	ug/l
Vertailulysimetrit:	5	- 13	ug/l
Pohjavesi:	alle 0,5	- 0,6	ug/l



— — — — — ○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - △ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
..... + kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - - X pohjavesi

Kuva 37. Lammin lysimetrivesien, sade-  
veden ja pohjaveden koboltti-  
pitoisuus

## KADMIUM

Maaperän kadmium on peräisin lähinnä sulfideista ja teollisuuden päästöistä. Kadmium sitoutuu saviin ja orgaaniseen ainekseen. Happamassa maaperässä se huuhtoutuu herkästi.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

	min	max
Maannoslysimetri:	alle 0,1	0,4 ug/l
Vertailulysimetri:	alle 0,1	0,4 ug/l
Pohjavesi:	alle 0,1	0,2 ug/l
Sadevesi:	alle 0,1	1,0 ug/l

	min	max
Maannoslysimetrit:	0,4	1,5 ug/l
Vertailulysimetrit:	0,2	0,3 ug/l
Pohjavesi:		0,1 ug/l

## ALUMIINI

Alumiininimeraalien rapautumisessa syntyy alumiinihydroksideja. Ne saostuvat maaperässä kiteiseen tai kolloidimuotoon tai muodostavat orgaanisia yhdisteitä. Saostumat ovat hyvin pysyviä pH-alueella 5 - 8. Erittäin happamassa maaperässä alumiini liukenee.

## Analyysitulokset:

Tuusula: 29.4. - 31.12.1985

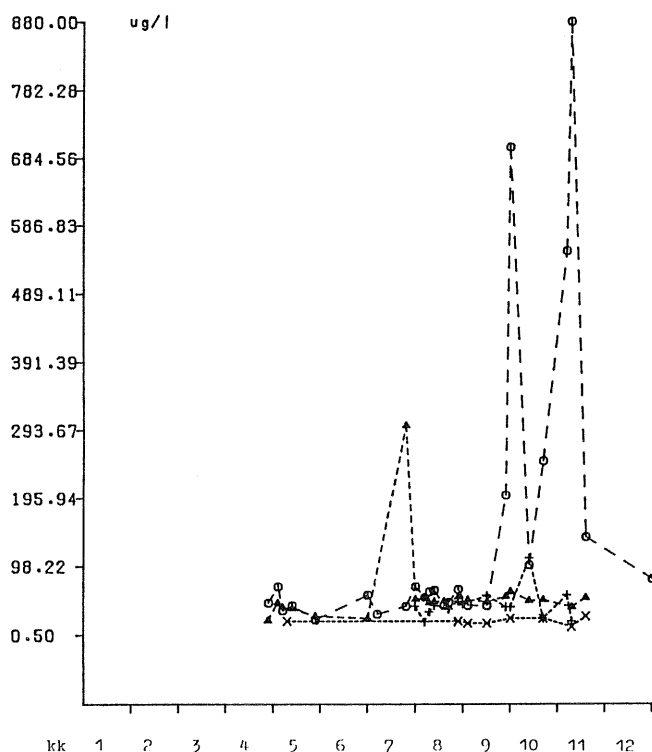
Lammi: 25.10. - 31.12.1985

28.4. - 31.12.1985

(pohjavesi)

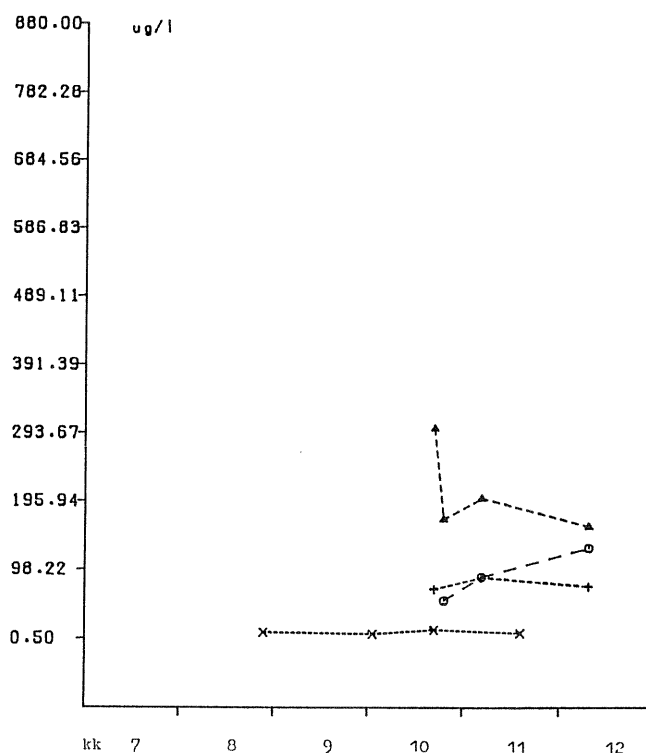
	min	max
Maannoslysimetri:	22 - 840 ug/l	
Vertailulysimetri:	21 - 62 ug/l	
Pohjavesi:	19 - 24 ug/l	
Sadevesi:	18 - 120 ug/l	

	min	max
Maannoslysimetrit:	54 - 390 ug/l	
Vertailulysimetrit:	70 - 120 ug/l	
Pohjavesi:	6 - 13 ug/l	



— — — — ○ kollektori 0,4 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - Δ kollektori, 0,4 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - - + sadevesi  
- - - - - X pohjavesi

Kuva 38. Tuusulan lysimetrivesien, sade-  
veden ja pohjaveden alumiini-  
pitoisuus



— — — — ○ kollektori 0,8 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - Δ kollektori 1,5 m maan-  
pinnasta, maannoskerros  
- - - - - + kollektori 0,15 m maan-  
pinnasta, ei maannosta  
- - - - - X pohjavesi

Kuva 39. Lammin lysimetrivesien, sade-  
veden ja pohjaveden alumiini-  
pitoisuus

### 6.3 Pohjavesitutkimusten alueet ja niiden vedenlaatu

#### 6.3.1 Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alue

##### 6.3.1.1 Yleistä

Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin tutkimusalueet ovat neljällä harjualueella, joissa tutkittiin 18 valuma-aluetta vuoden 1985 aikana (taulukko 4). Koko tutkimuksen suurin ja tarkimmin tutkittava alue on Tuusulan harjujakso.

Tuusulan harjujaksossa tutkitaan pohjaveden laatua lähes kaikissa tutkimuksen luokituksen mukaisissa tilanteissa: luonnontilaisella alueella (Kapulasillanmäki 1.0), alueella, jossa puusto ja maannos on kuorittu kokonaan tai osittain pois, mutta soranotto ei ole vielä laajassa mitassa alkanut (Salmelanmäki 2.1) ja alueilla, joissa soranotto on laajasti käynnissä (Patamäki 2.2). Jaksolta tutkitaan myös alueita, joilla soranotto on jo loppunut: laaja pohjavedenpinnan yläpuolinen ottoalue (Fira 3.2), jälkihoitamaton pohjavedenpinnan alapuolisen soran ottoalue (Ristikivenmäki 3.4) sekä jälkihoidettu pohjaveden alapuolisen soran ottoalue (Jakomäki 3.6).

Tuusulan harjujaksossa tutkitaan myös kahta ottamo -lammikko paria: Fira ja Jakomäki. Lammikot ovat matalia, 3 - 5 m syviä.

Lammin Salivuorella oleva tutkimusalue on pieni, lähes luonnontilainen harjumuodostuma Salpausselkien välimaastossa. Harjun soranotto alkaa vuoden 1987 aikana.

Taulukko 4. Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin vesinäytteet

Jakomäki	H111AW 3.6	Fazerin ottamo	näyte	1 m vedenpinnasta
	H112AW 3.6	Jakomäen lammikko		1 m vedenpinnasta
	H112BW 3.6	Jakomäen lammikko		1 m pohjasta
Lentokenttä	H211AE 3.3	Lentokentän ottamo		ottamon pumppu
	H221AE 3.4	Ruskeasannan lammikko		1 m pinnasta
		Ruskeasannan lammikko		1 m pohjasta
Tuusulan harjujakso	H311AV 3.2	Firan ottamo 1. kaivo		ottamon pumppu
	H312AV 3.2	Firan lammikko		1 m pinnasta
	H312BV 3.2	Firan lammikko		1 m pohjasta
	H321AE 3.3	Lahelan ottamo		ottamon pumppu
	H322AV 3.4	Ristikivenmäen lammikko		1 m pinnasta
	H322BV 3.4	Ristikivenmäen lammikko		1 m pohjasta
	H331AW 3.1	Palaneenmäen putki	2,5 m pinnasta	
	H331BW 3.1	Palaneenmäen putki	13 m pinnasta	
	H332AW 1.0	Kapulasillanmäki, putki	3,0 m pinnasta	
	H332BW 1.0	Kapulasillanmäki, putki	8,0 m pinnasta	
	H341AE 2.2	Teilinummi, et. putki	1 m pinnasta	
	H351AE 3.5	Teilinummi, kesk. putki	1 m pinnasta	
	H352AE 3.5	Teilinummi, pohj. putki	1 m pinnasta	
	H361AE 2.2	Korkenummen kaivo (TVH)	1 m pinnasta	
	H371AE 1.0	Nukarin ottamo		ottamon pumpusta
	H381AV 2.2	Patamäki, ottoalueen kaivo	1 m pinnasta	
	H391AV 2.2	Patamäki, putki	1 m pinnasta	
	H3A1AE 2.1	Salmelanmäki, kaivo	1 m pinnasta	
	H3B1AW 2.1	Salmelanmäki, putki	2 m pinnasta	
	H3B1BW 2.1	Salmelanmäki, putki	12 m pinnasta	
	H3C1AV 2.1	Salmelanmäki, lähde		
	H3D1AV 3.3	Pentinsuonmäki, putki	3,5 m pinnasta	
	H3D1BV 3.3	Pentinsuonmäki, putki	8,5 m pinnasta	
Lammi	H411AV 1.0	Salimäki, talon vier. putki	1,5 m pinnasta	
	H411BV 1.0	Salimäki, talon vier. putki	9,5 m pinnasta	
	H412AV 1.0	Salimäki, putki supassa	2,0 m pinnasta	
	H412BV 1.0	Salimäki, vertailuputki	8,0 m pinnasta	
	H421AV 1.0	Salimäki, vertailuputki	1,5 m pinnasta	
	H421BV 1.0	Salimäki, vertailuputki	7,5 m pinnasta	

V = näyte otetaan neljä kertaa vuodessa

W = näyte otetaan 1 - 4 kertaa kuukaudessa

E = näyte otettu vain vuoden 1985 ajan 4 kertaa



Taulukko 5. Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueen havaintoputkista vuonna 1985 otettujen pohjavesinäytteiden analyysitulosten mediaaniarvot soranottotilanteen mukaan luokiteltuina.

	luonnon- tilainen	pintamaa poistettu	laaja otto pv-pinnan yläpuolella	vähäinen pv-yläpuol. otto päät- tynyt	laaja pv- pinnan ylä- puol. otto päättynyt
	1.0	2.1	2.2	3.1	3.3
lämpötila, °C	3.85	4.50	3.90	3.40	4.10
O <sub>2</sub> , %, kenttä	66.89	82.89	88.04	83.84	76.88
CO <sub>2</sub> , mg/l, kenttä	20.00	25.00	35.00	25.00	15.00
pH, kenttä	6.40	6.40	6.30	5.90	6.45
sähkönjoht. mS/m, kent.	9.30	8.70	22.95	5.70	17.05
O <sub>2</sub> , %, lab.	50.98	78.40	89.09	75.44	76.74
sameus, FTU	17.00	6.85	15.00	4.30	33.00
kiintoaine, mg/l	29.00	13.90	21.10	3.65	46.80
sähkönjoht. mS/m	8.35	7.95	22.90	5.40	16.65
alkaliteetti, mval/l	0.43	0.48	0.66	0.23	0.55
CO <sub>2</sub> mg/l	21.70	17.80	25.40	23.40	16.00
HCO <sub>3</sub> , mg/l	25.92	29.58	40.26	14.03	33.55
pH	6.40	6.30	6.35	6.00	6.60
väriluku, Pt, mg/l	5.00	5.00	5.00	5.00	12.50
KMnO <sub>4</sub> -kul. "	2.75	2.85	2.25	2.20	2.35
kokonaistyyppi "	0.47	0.81	2.10	0.57	1.30
NO <sub>2</sub> , "	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO <sub>3</sub> , "	1.30	3.10	8.40	2.25	5.80
NH <sub>4</sub> , "	0.01	0.01	0.03	<0.01	0.03
PO <sub>4</sub> , µg/l	34.00	29.50	55.50	24.00	43.00
kokonaissfosfori, µg/l	33.00	18.50	31.50	10.50	84.50
Cl, mg/l	2.40	2.30	27.20	2.50	19.20
SO <sub>4</sub> , mg/l	12.00	9.95	25.00	9.15	15.00
kolif. bakt. 35C	0.00	6.00	23.00	0.00	0.00
kolif. bakt. 44C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub> , mg/l	14.60	15.65	13.90	13.60	13.65
org. C, "	-	-	-	-	-
Ca, mg/l	5.80	6.30	18.50	3.70	15.00
Mg, "	1.85	2.00	4.65	0.88	3.10
kokonaiskovuus, dH	1.26	1.34	3.68	0.73	2.79
Na, mg/l	3.85	3.25	12.50	3.15	7.85
K, "	1.90	1.25	2.25	0.95	1.90
Fe, "	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Mn, "	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zn, µg/l	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
Cu, "	1.70	1.35	1.75	1.55	1.25
Ni, "	1.05	0.75	1.80	0.55	<0.50
Pb, "	<0.50	<0.50	<0.50	0.60	<0.50
Cd, "	0.10	<0.10	0.10	<0.10	<0.10
Cr, "	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Co, "	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Al, suodatettu, µg/l	17.50	16.00	9.25	10.50	17.00
Al, ei suod. "	1000.00	575.00	400.00	321.50	1750.00
Rn, Bq/l	34.00	79.50	68.00	35.00	100.00
näytteiden lkm	31	6	4	8	8

Taulukko 6. Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueen havaintoputkista vuonna 1985 otettujen pohjavesinäytteiden analyysitulosten mediaaniarvot näytetason (A = pintanäyte, B = pohjanäyte) ja soranottotilanteen mukaan luokiteltuina.

	1.0		2.1		2.2	3.1		3.3	
	A	B	A	B	A	A	B	A	B
lämpötila, °C	3.60	4.20	4.70	4.30	3.90	3.10	3.90	4.10	4.35
O <sub>2</sub> , %, kenttä	68.97	66.38	82.89	82.89	88.04	84.52	83.62	75.69	81.54
CO <sub>2</sub> , mg/l, kenttä	20.00	20.00	25.00	25.00	35.00	25.00	30.00	15.50	15.00
pH, kenttä	6.40	6.40	6.40	6.40	6.30	5.75	6.10	6.45	6.40
sähkönjoht. mS/m, kent.	9.10	9.60	8.40	9.50	22.95	5.60	5.75	16.95	17.35
O <sub>2</sub> , %, lab.	54.07	50.76	84.59	72.22	89.09	76.08	75.44	79.96	76.64
sameus, FTU	9.00	26.50	1.50	9.00	15.00	1.20	16.85	34.00	33.00
kiintoaine, mg/l	21.60	42.80	2.30	26.30	21.10	0.60	32.00	46.80	70.85
sähkönjoht. mS/m	8.00	8.70	7.40	8.50	22.90	5.40	5.45	16.40	16.85
alkaliteetti, mval/l	0.38	0.48	0.45	0.52	0.66	0.23	0.23	0.55	0.57
CO <sub>2</sub> mg/l	21.00	22.60	17.70	25.00	25.40	23.40	22.80	16.00	15.30
HCO <sub>3</sub> , mg/l	23.18	29.28	27.45	31.72	40.26	14.03	14.03	33.55	34.77
pH	6.35	6.40	6.30	6.30	6.35	5.95	6.00	6.55	6.60
väriluku, Pt, mg/l	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	12.50	10.00	20.00
KMnO <sub>4</sub> -kul.	2.75	2.65	3.50	2.50	2.25	2.20	2.65	3.45	2.15
kokonaistyyppi	0.37	0.47	0.72	0.88	2.10	0.54	0.57	1.30	1.35
NO <sub>2</sub> ,	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO <sub>3</sub> ,	0.89	1.60	2.80	3.10	8.40	2.10	2.25	5.80	6.00
NH <sub>4</sub> ,	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	<0.01	0.01	0.03	0.03
PO <sub>4</sub> , ug/l	29.00	40.00	28.00	31.00	55.50	6.00	26.00	49.00	43.00
kokonaissfosfori, ug/l	25.00	39.50	5.00	19.00	31.50	5.00	15.00	84.50	74.50
Cl, mg/l	2.50	2.40	2.00	2.60	27.20	2.50	2.40	20.00	17.50
SO <sub>4</sub> , mg/l	12.00	13.00	10.00	9.80	25.00	8.95	9.35	12.50	15.50
kolif. bakt. 35C	0.00	2.50	0.00	24.00	23.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kolif. bakt. 44C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub> , mg/l	14.50	15.10	15.30	16.00	13.90	13.60	13.95	13.70	13.60
org. C,	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca, mg/l	5.40	6.45	6.00	6.90	18.50	3.70	3.70	15.00	14.50
Mg,	1.50	2.10	1.80	2.30	4.65	0.88	0.88	3.10	3.10
kokonaiskovuus, dH	1.07	1.39	1.25	1.47	3.68	0.73	0.75	2.80	2.75
Na, mg/l	3.40	3.95	3.30	3.20	12.50	3.20	3.15	7.90	7.85
K,	1.45	2.00	1.20	1.30	2.25	0.95	0.95	1.90	1.90
Fe,	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Mn,	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Zn, ug/l	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00	<20.00
Cu,	1.70	1.75	1.60	1.20	1.75	1.55	1.60	1.00	1.45
Ni,	1.00	1.30	0.70	1.00	1.80	0.55	0.65	<0.50	<0.50
Pb,	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.60	<0.50	<0.50	<0.50
Cd,	0.10	0.10	<0.10	0.10	0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Cr,	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Co,	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Al, suodatettu, ug/l	17.00	18.00	16.00	16.00	9.25	10.50	11.50	9.85	27.00
Al, ei suod.	950.00	1300.00	462.00	700.00	400.00	32.00	730.00	1600.00	1900.00
Rn, Bq/l	-	34.00	59.00	100.00	68.00	37.00	34.00	87.00	105.00
näytteiden lkm	16	15	3	3	4	4	4	4	4



Tuusulan harjujakson havainto-  
putkista otettujen pohjavesi-  
näytteiden

sähkönjohtavuus (kuva 40)

kloridi- (kuva 41)

sulfaatti- (kuva 42)

kalsium- (kuva 43)

magnesium- (kuva 44)

kalium- (kuva 45)

natriumpitoisuudet (kuva 46)

soranottotilanteen mukaan

luokiteltuna.

Soranottotilanne:

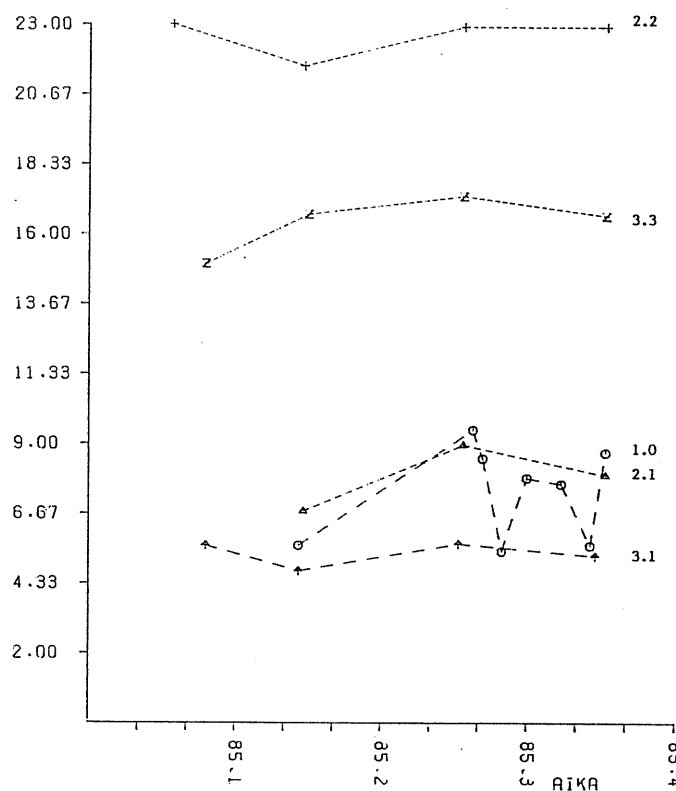
1.0 luonnontilainen harju

2.1 pintamaa poistettu,  
laajamittainen soranotto  
ei ole vielä alkanut

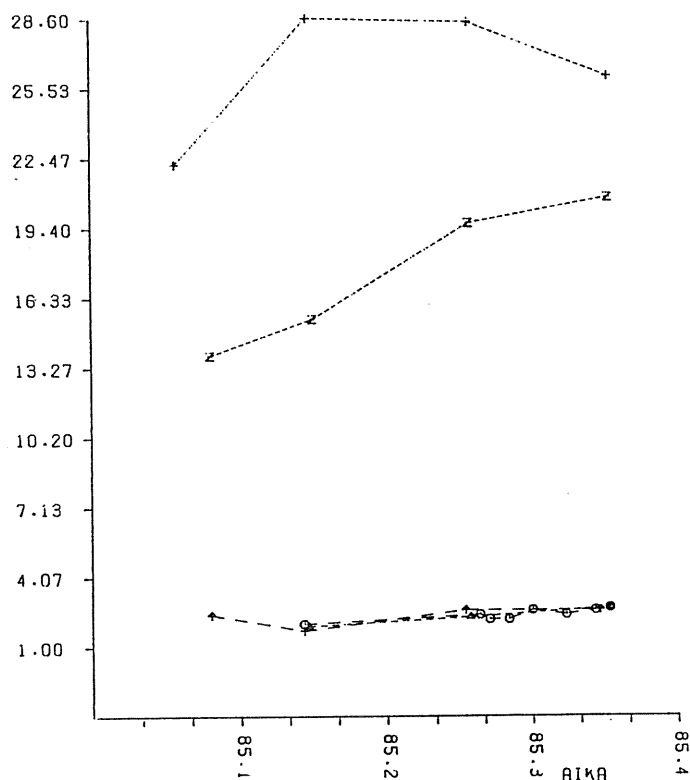
2.2 laajamittainen soranotto  
on käynnissä pohjaveden-  
pinnan yläpuolella

3.1 ollut aikaisemmin jonkin  
verran pohjavesipinnan  
yläpuolista soranottoa

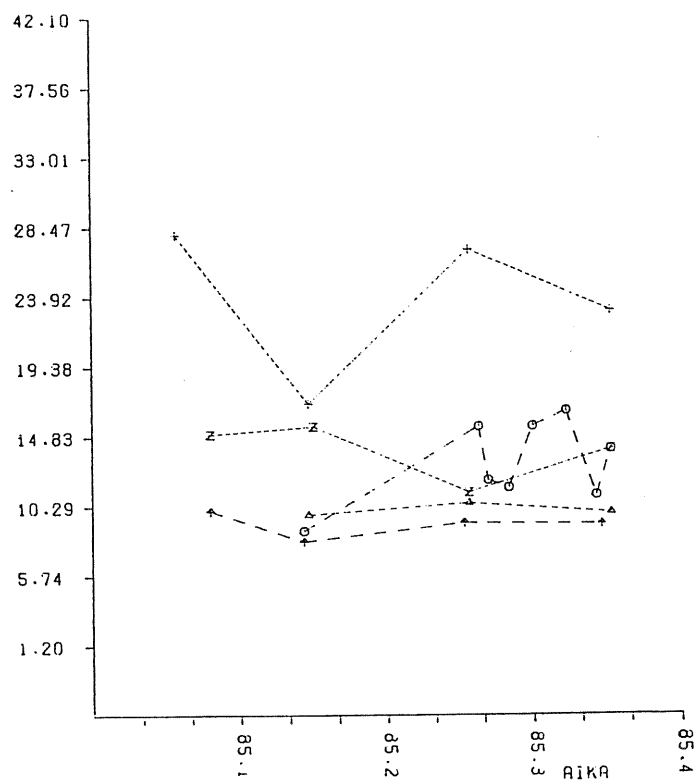
3.3 ollut aikaisemmin laajalti  
pohjavesipinnan ylä-  
puolista soranottoa.



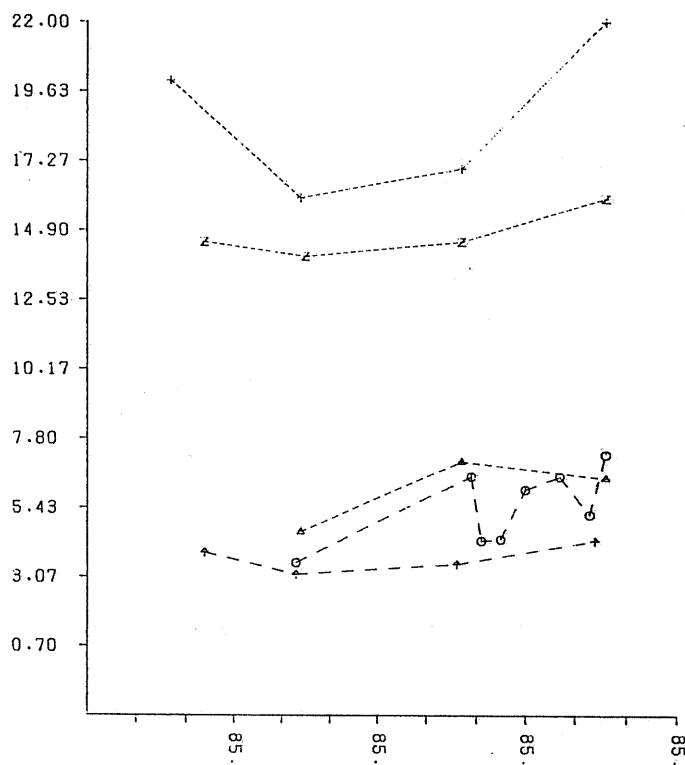
Kuva 40. Sähkönjohtavuus, mS/m 25 °C.



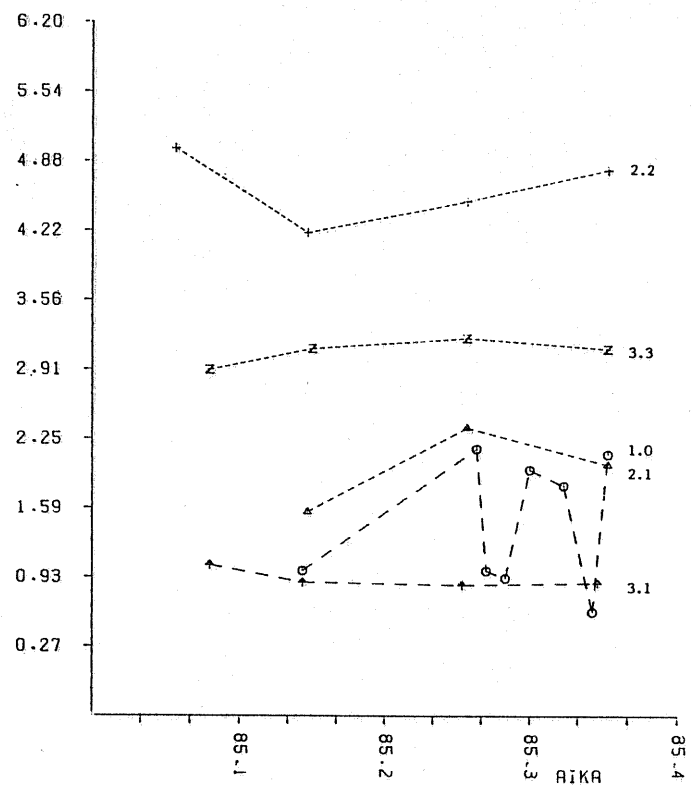
Kuva 41. Kloridi, mg/l.



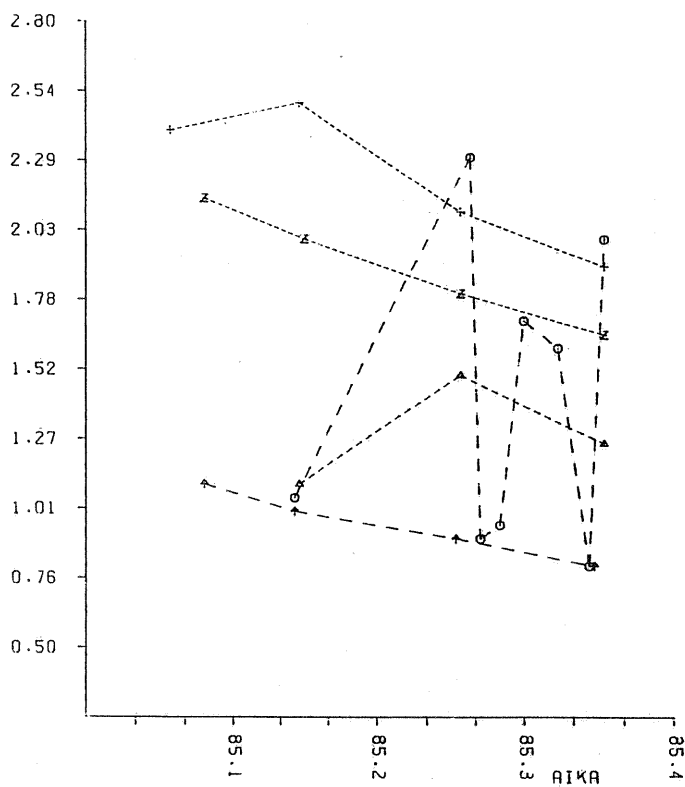
Kuva 42. Sulfaatti, mg/l.



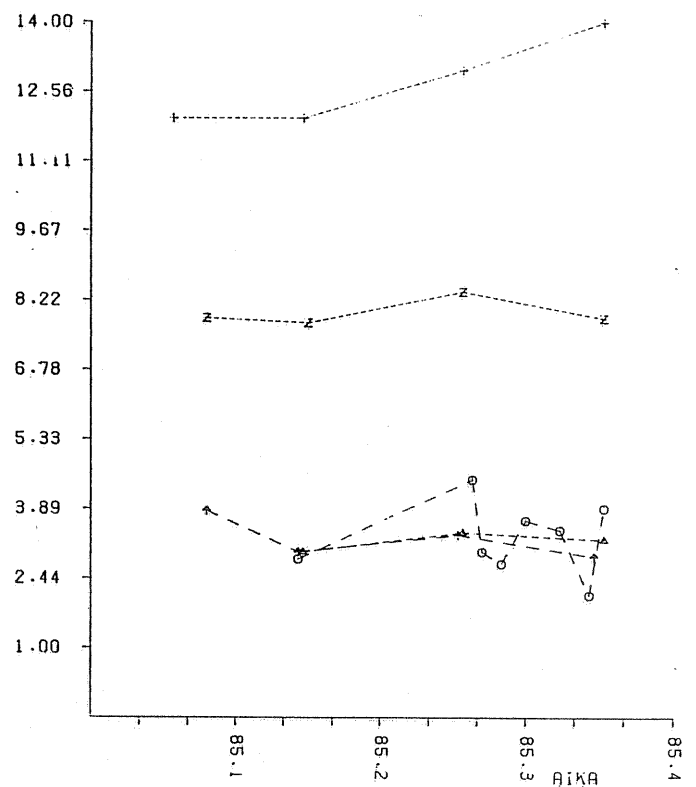
Kuva 43. Kalsium, mg/l.



Kuva 44. Magnesium, mg/l.



Kuva 45. Kalium, mg/l.



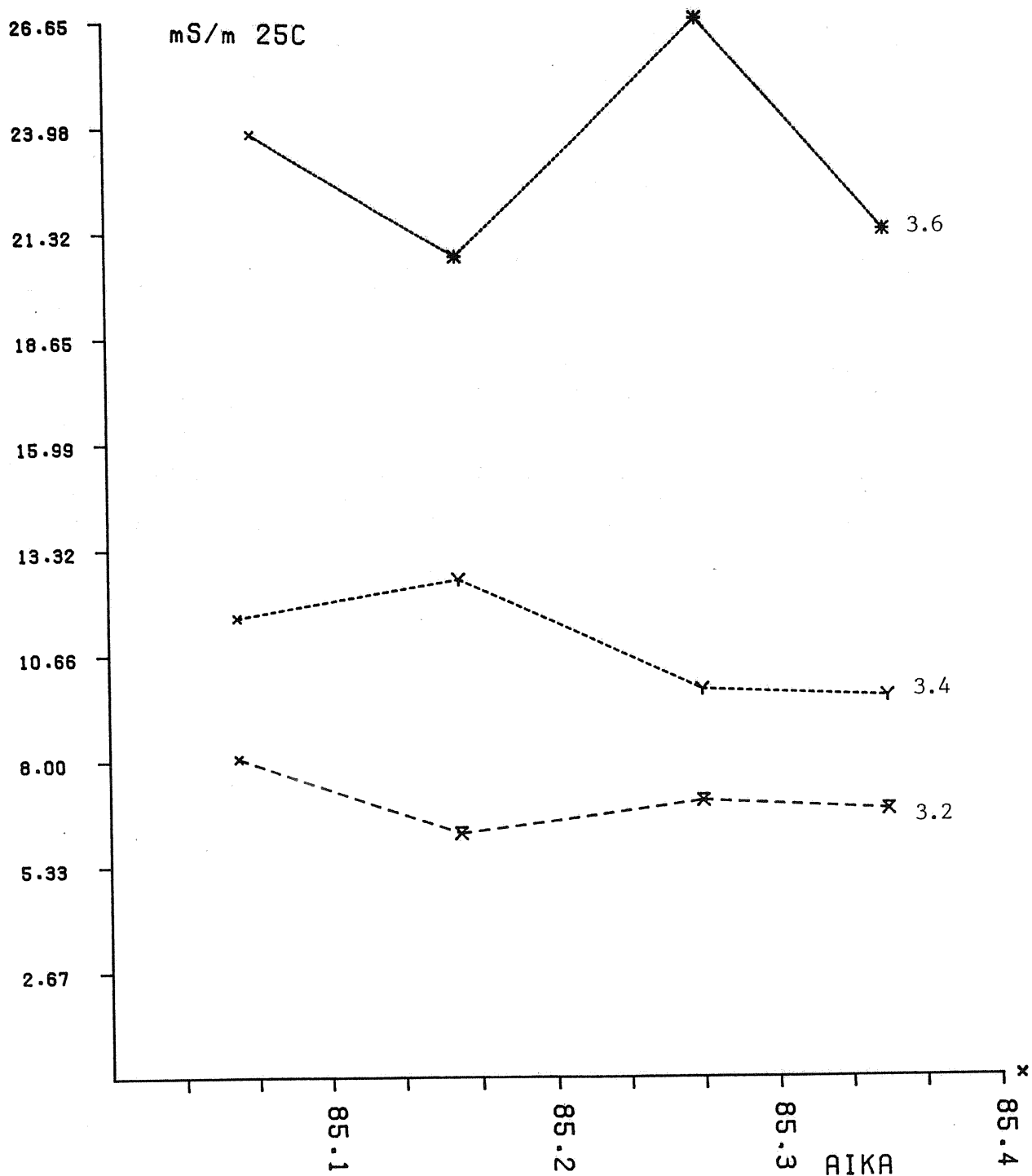
Kuva 46. Natrium, mg/l.

#### 6.3.1.2 Lammikkovesi ja ottamovesi

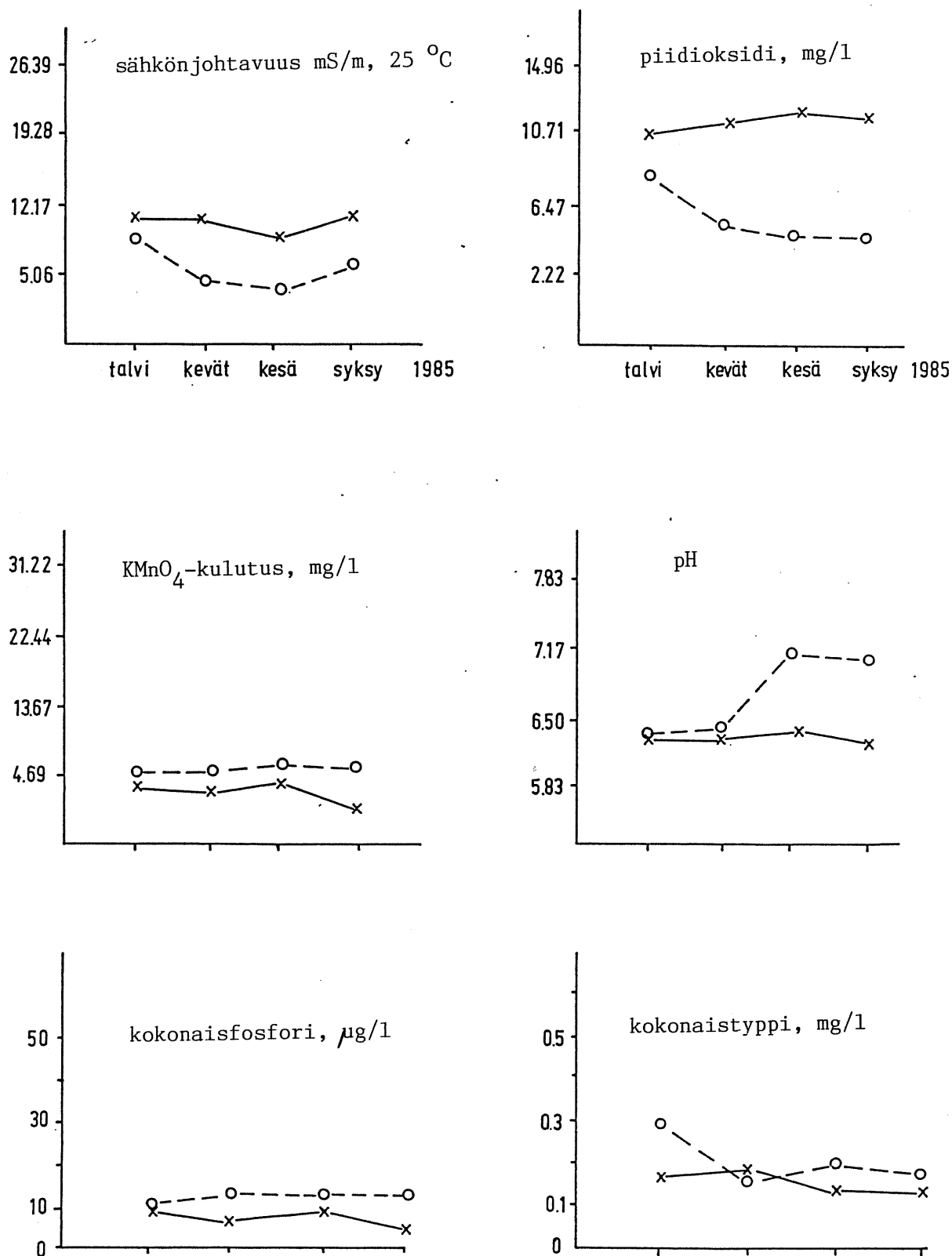
Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin tutkimusalueilla on kolmeen eri soranottotilanteeseen kuuluvia lammikoita. Jakomäki, joka on jälkihoidettu vuoden 1985 aikana, Fira, jossa on ollut laajalla alueella pohjavedenpinnan yläpuolista ja pienellä alueella pohjavedenpinnan alapuolista soranottoa sekä Ristikivenmäki, jossa on ollut laajaa pohjavedenpinnan alapuolista soranottoa. Jakomäen ja Firan lammikoiden vieressä on vedenottamo. Lammikoiden kokonaissuolapitoisuudet eroavat toisistaan melko paljon (kuva 47 A).

Näyteaineiston mediaanipitoisuuksia esittelevistä taulukoista ilmenee, että eri näytepaikoista otetut näytemäärät eivät ole yhtä suuria.

Kuvassa 47 B on koko aineiston lammikoiden ja vedenottamoiden kaivojen sähkönjohtavuuden, piihappopitoisuuden,  $\text{KMnO}_4$ -luvun, pH:n, kokonaisfosforin ja kokonaistypen vuoden 1985 tulosten mediaaniarvot. Näissä kuvissa ja kussakin näytepaikan kuvassa on ionikohtainen skaala, jossa pienimpänä arvona on koko ottamo ja lammikkoaineiston kyseisen pitoisuuden minimiarvo ja suurimpana vastaavasti maksimi-arvo.



Kuva 47a. Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin lammikkovesinäytteiden sähkönjohtavuuden (mS/m, 25 °C) mediaaniarvot soranottotilanteen mukaan jaoteltuna. (3.2 = vähäinen pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto päättynyt, 3.4 = laaja pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto päättynyt, 3.6 = jälkihoitettu pohjavedenpinnan alapuolinen soranottoalue.)



Kuva 47b. Lammikkovesien (-o-) ja ottamovesien (-x-) sähkönjohtavuusarvojen, piidioksidiarvojen, KMnO<sub>4</sub>-kulutuksen, pH:n, kokonaisfosfori- ja kokonaistypipitoisuuden mediaaniarvot koko maan aineistosta.

	H111AV	H112AV	H112BV
Sameus FTU	0.80	18.50	31.00
Sähkönjoht. mS/m 25C	28.35	20.95	24.00
Alkaliniteetti mval/l	1.30	1.00	1.12
Väriluku Pt mg/l	5.00	30.00	80.00
KMnO4-luku mg/l	11.85	13.70	20.00
Kokonaistyyppi N mg/l	0.19	0.35	0.33
Nitraatti NO3 mg/l	0.28	0.35	0.11
Kokonaisfosfori P ug/l	5.50	19.50	27.00
Kloridi Cl mg/l	28.20	21.60	24.60
Sulfaatti SO4 mg/l	35.50	17.50	19.00
Klorofylli mg/m3		2.50	
Piihappo SiO2 mg/l	17.20	13.95	13.10
Orgaaninen hiili C mg/l	3.40	5.80	7.20
Kalsium Ca mg/l	24.50	18.50	21.00
Magnesium Mg mg/l	7.15	4.95	5.70
Natrium Na mg/l	14.00	9.90	11.00
Kalium K mg/l	2.90	2.50	2.30
Rauta Fe mg/l	0.69	0.10	1.80
Mangaani Mn mg/l	0.48	0.54	1.50
Kupari Cu ug/l	2.80	2.50	2.70
Lyijy Pb ug/l	<0.50	<0.50	0.50
Kadmium Cd ug/l	0.15	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	<0.50	1.00
Koboltti Co ug/l	2.45	1.65	7.70
Alumiini Al ug/l Suod.	20.00	58.50	58.00

Jakomäki

Soranottotilanne

3.6. (jälkihoidettu alue, jolta aikai-  
semmin on otettu  
soraa pohjaveden  
pinnan alapuolelta.

H111AV = ottamo

H112AV = lammikon  
pintanäyte, 1 m

H112BV = lammikon  
pohjanäyte, 3 m

Liiteosan sivut  
2 - 6.

Taulukko 7. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikonäytteiden medi-  
aaniarvot

Jakomäen tutkimusalueella on kaksi näytepaikkaa, vedenottamo ja siitä n. 50 metrin päässä oleva 5 metrin syvyinen lammikko. Lammikko on n. 0,4 ha kokoinen. Muodostuman aines on hiekkaa ja soraa ja reunoilla on savikerrostumat, jotka vähentävät imeytymistä ja virtausta.

Muodostumasta on kaivettu soraa runsaasti ja alueella on useita pohjavesilammikoita. Pohjaveteen voi vaikuttaa lisäksi pienteollisuus, liikenne sekä asutus. Alueen jälkihoito aloitettiin keväällä 1985, talvinäytteen ottamisen jälkeen. Lammikot ruopattiin, rinteet loivennettiin ja alueelle istutettiin mänty- ja koivutaimia.

Lammikko on läpivirtauslammikko. Sähkönjohtavuusarvot ja piihappopitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin ottamon vedessä ja lammikkoveden arvoiksi korkeita. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on korkea sekä lammikon että ottamon vedessä. Alkaliniteetti on korkea ja vesi on lähes neutraalia.

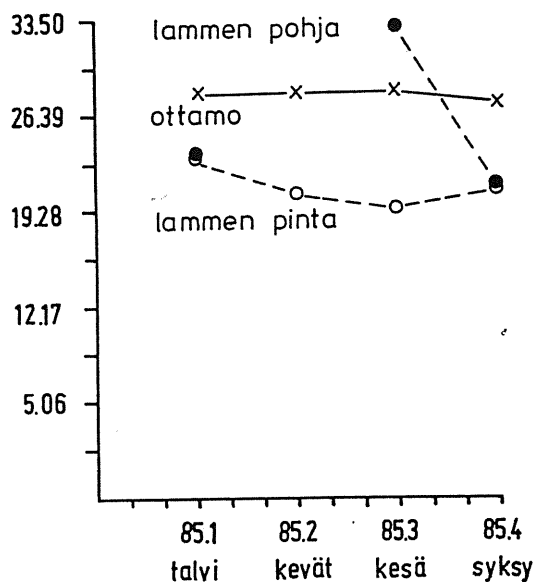
Lammikko on lämpötilakerrostunut. Pohjaosissa on hapettomuutta sekä kesällä että talvella ja pinnalla on hapen-  
vajausta talvella.

Lammikkoveden ravinnetaso on kohtalainen. Ruoppaus on aiheuttanut fosforipitoisuuden tilapäisen nousun. Tuotantotaso on melko alhainen ja tuotantoa rajoittaa normaali-tilanteessa typpi.

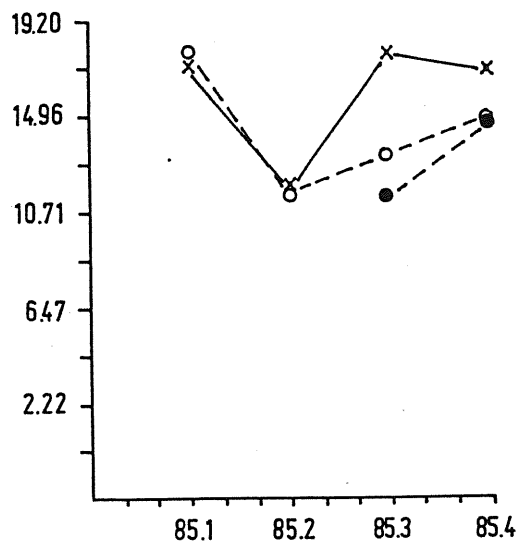
Lammikon vedessä on pieniä määriä koliformisia bakteereita.

Keväällä alkanut ruoppaus aiheutti happipitoisuuden laskun, sameuden ja kiintoainemäärän lisäyksen sekä rauta-, mangaani-, ammonium-, nikkeli-, koboltti- ja kromipitoisuuden merkittävän nousun. Vedenlaatu on palautunut vuoden aikana entiselleen.

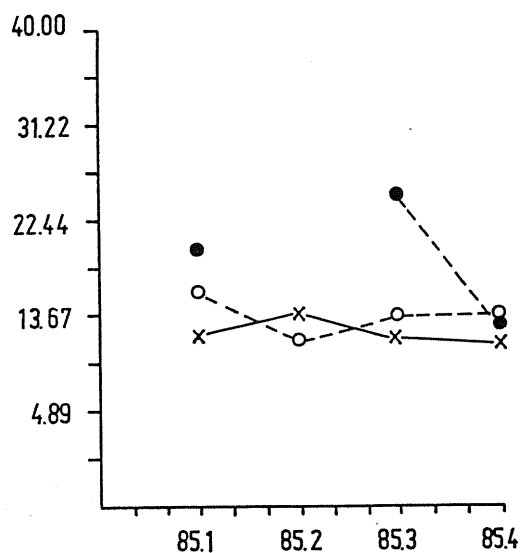
Vedenottamon vedenlaatu on tyydyttävä. Vedessä on lievää vuodenaikaisvaihtelua. Lammikon ja pohjaveden vaikutukset toisiinsa ovat selvät.



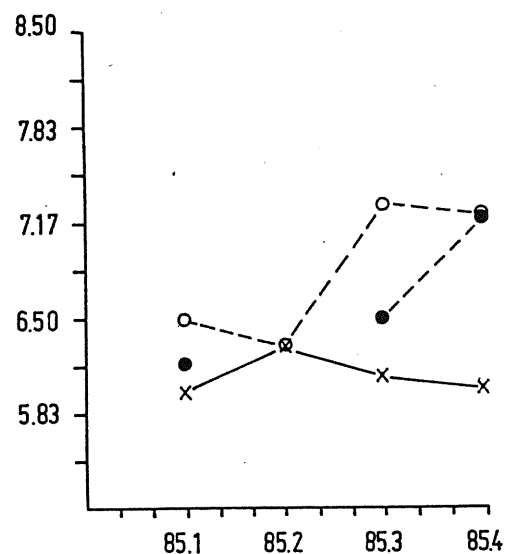
Kuva 48. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



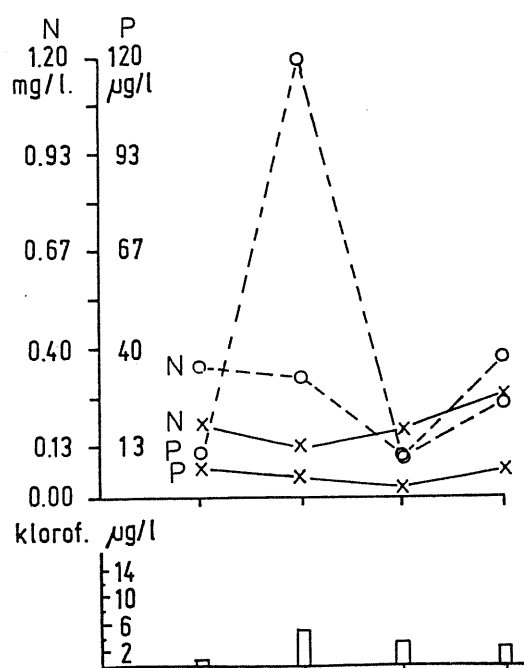
Kuva 49. Piihappopitoisuus mg/l.



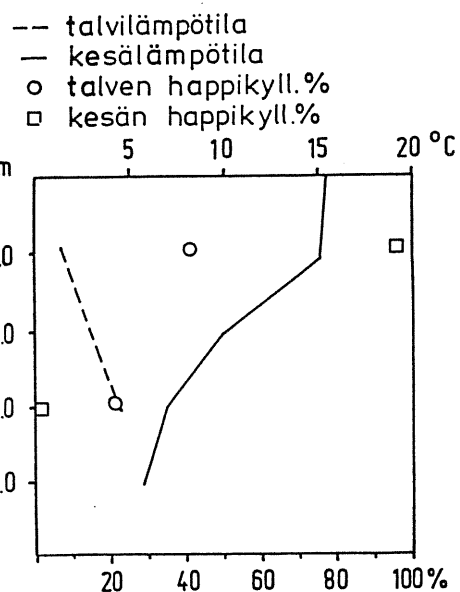
Kuva 50. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 51. pH



Kuva 52. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 53. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Fira

Soranottotilanne 3.2.  
(otettu aikaisemmin  
jonkin verran soraa  
pohjavesipinnan  
alapuolelta).

H311AV = ottamo  
H312AV = lammikon  
pinta, 1 m  
H312BV = lammikon  
pohja, 3 m

	H311AV	H312AV	H312BV
Sameus FTU	0.20	2.15	2.25
Sähkönjoht. mS/m 25C	13.85	6.90	6.85
Alkaliniteetti mval/l	0.51	0.36	0.39
Väriluku Pt mg/l	5.00	5.00	5.00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	1.50	5.45	6.15
Kokonaistyyppi N mg/l	0.21	0.33	0.34
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.90	0.43	0.43
Kokonaissfosfori P ug/l	4.00	8.50	12.00
Kloridi Cl mg/l	15.10	4.00	4.10
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	13.00	10.95	9.60
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>		1.95	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	12.20	4.10	3.30
Orgaaninen hiili C mg/l	0.60	1.80	1.60
Kalsium Ca mg/l	9.30	6.00	5.95
Magnesium Mg mg/l	3.30	1.80	1.80
Natrium Na mg/l	8.90	3.05	3.20
Kalium K mg/l	1.80	1.35	1.35
Rauta Fe mg/l	<0.05	<0.05	<0.05
Mangaani Mn mg/l	<0.02	<0.02	<0.02
Kupari Cu ug/l	1.60	1.50	1.65
Lyijy Pb ug/l	<0.50	<0.50	<0.50
Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	<0.50	<0.50
Koboltti Co ug/l	<0.50	<0.50	<0.50
Alumiini Al ug/l Suodatettu	4.00	17.00	22.50

Liiteosan sivut  
12 - 16.

Taulukko 8. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikonäytteiden medi-  
aaniarvot

Firan tutkimusalueella on kaksi tutkimuskohdetta: Firan vedenottamon kaivo numero 1 ja siitä noin 150 m päässä ylävirran puolella pääosin 2,0 m syvä lammikko, jossa on 3,5 m syvyinen osa, josta on otettu näytteet. Lammikko on n. 160 m x 100 m kokoinen.

Valuma-alueelta on otettu runsaasti soraa kallioon asti, mutta pohjavettä on näkyvillä vain pienellä alueella. Soranoton lisäksi alueen pohjavettä rasittaa vilkkaasti liikennöity tie.

Lammikko sijaitsee sivussa harjun pohjaveden päävirtauskentästä. Veden sähkönjohtavuusarvot ja piihappopitoisuudet ovat pieniä. Vesi on tasalaatuista alkaliniteetin ja pH:n suhteen, vesi on lähes neutraalia. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on pieni.

Lammikon vedessä ei ole lämpötilakerrostuneisuutta. Talvella on hapen vajausta.

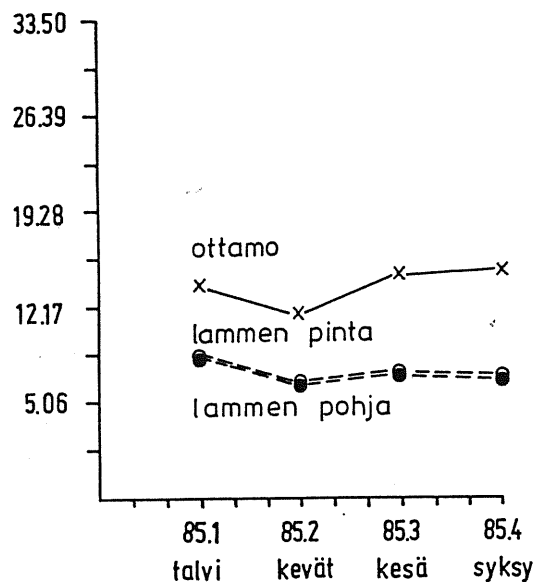
Ravinnetaso on kohtalaisen vähäinen ja tuotanto on alhainen. Tuotantoa rajoittanee ensisijaisesti fosforin vähyys.

Vuoden 1985 aineistossa on esiintynyt satunnaisesti pieniä määriä indikaattoribakteereita.

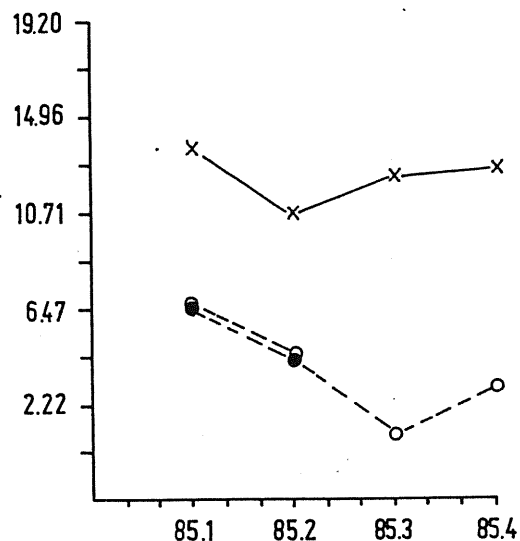
Vedenottamon veden laatu on hyvää: tasalaatuista, kirkasta eikä siinä ole suuria suolapitoisuuksia.

Lammikko muistuttaa luonnontilaista, kirkasta lampea, eikä se näiden analyysitietojen perusteella näytä vaikuttavan ottamon veden laatuun.

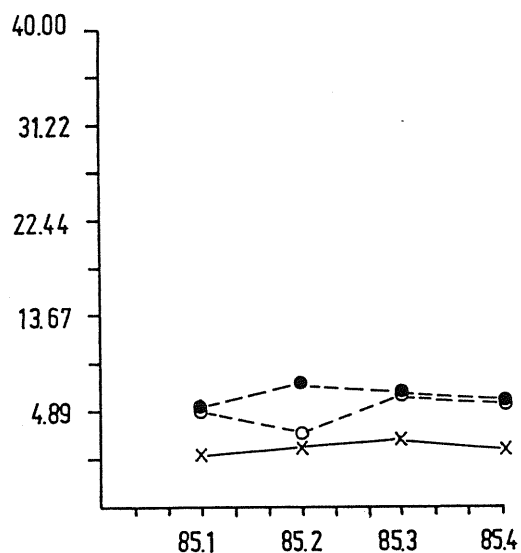




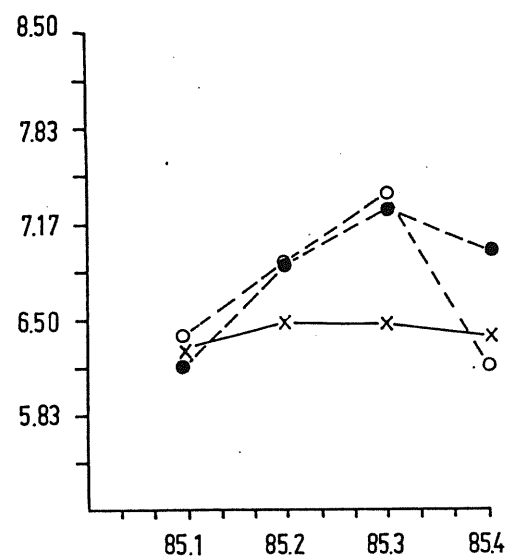
Kuva 54. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



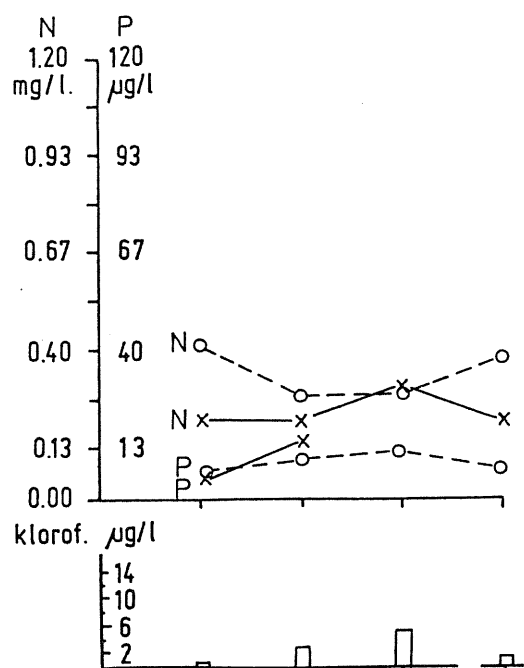
Kuva 55. Piihappopitoisuus mg/l.



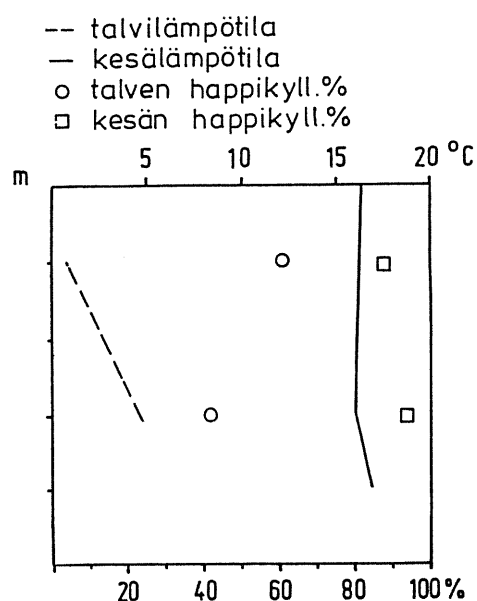
Kuva 56. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 57. pH



Kuva 58. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 59. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Ristikivenmäki

Soranottotilanne  
3.4. (ollut aikai-  
semmin laajalti  
pohjavedenpinnan  
alapuolista soran-  
ottoa).

H322AV = lammikon  
pintanäyte, 1 m  
H322BV = lammikon  
pohjanäyte, 3,0 m

	H322AV	H322BV
Sameus FTU	6.50	5.35
Sähkönjoht. mS/m 25C	10.15	10.85
Alkaliniteetti mval/l	0.60	0.68
Väriluku Pt mg/l	20.00	25.00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	24.60	27.55
Kokonaistyyppi N mg/l	0.69	0.74
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.45	0.40
Kokonaisfosfori P ug/l	17.50	20.50
Kloridi Cl mg/l	7.00	7.10
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	11.00	10.50
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	14.69	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	2.45	2.85
Orgaaninen hiili C mg/l	8.25	10.85
Kalsium Ca mg/l	9.05	9.45
Magnesium Mg mg/l	2.70	3.00
Natrium Na mg/l	4.05	4.45
Kalium K mg/l	1.75	1.80
Rauta Fe mg/l	0.08	0.06
Mangaani Mn mg/l	0.02	0.02
Kupari Cu ug/l	3.80	3.40
Lyijy Pb ug/l	1.15	0.70
Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	0.50
Koboltti Co ug/l	<0.50	<0.50
Alumiini Al ug/l Suod.	20.00	17.50

Liiteosan sivut  
17 - 21.

Taulukko 9. Vuoden 1985 lammikkonäyt-  
teiden mediaaniarvot

Ristikivenmäen alueella on yksi näytepaikka, lammikko. Lammikko on pientä 4 metrin syvyistä aluetta lukuunotta-  
matta alle 2 m syvyinen. Lammikko on 1,6 ha kokoinen. Muodostumalla ei ole selkeää harjulle ominaista muotoa, vaan se on kallioiden välissä oleva hiekka- ja sora-  
kasauma.

Tutkimusalueelta on otettu runsaasti soraa ja sillä on  
asuntoalue ja teitä.

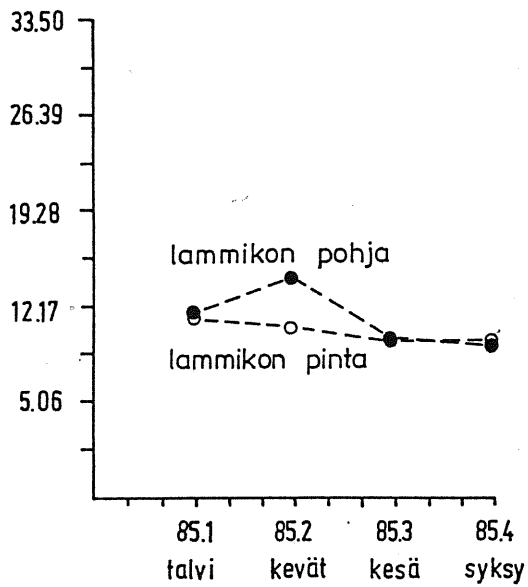
Lammikko ei ole läpivirtauslammikkoa. Veden sähkönjohta-  
vuusarvot ovat kohtalaiset ja piihappopitoisuudet ovat  
pieniä. Alkaliniteetti on melko korkea, vuodenaikais-  
vaihtelut ovat pieniä. pH:n nousu kesällä lammikon  
pintavedessä on selvä. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on suuri ja sen  
vuodenaikaisvaihtelut ovat suuria.

Lammikon vesi ei ole lämpötilakerrostunut ja vedessä on  
happivajausta.

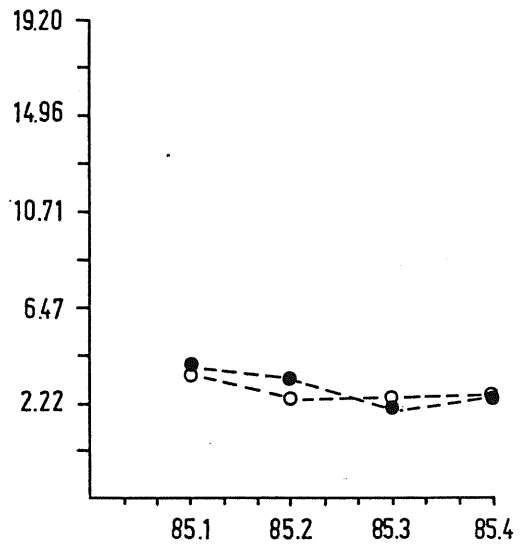
Lammikossa on runsaasti typpeä ja kohtalaisesti fosforia.  
Tuotantotaso on erittäin korkea. Tuotantoa rajoittaa  
fosfori.

Vedessä on ajoittain huomattavasti koliformisia baktee-  
reita.

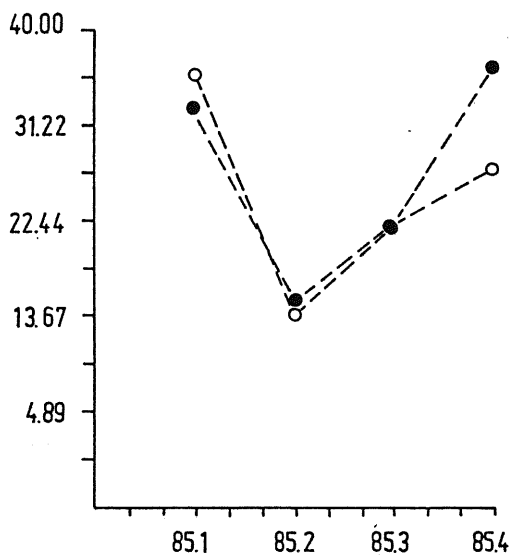
Lammikko on erittäin rehevä.



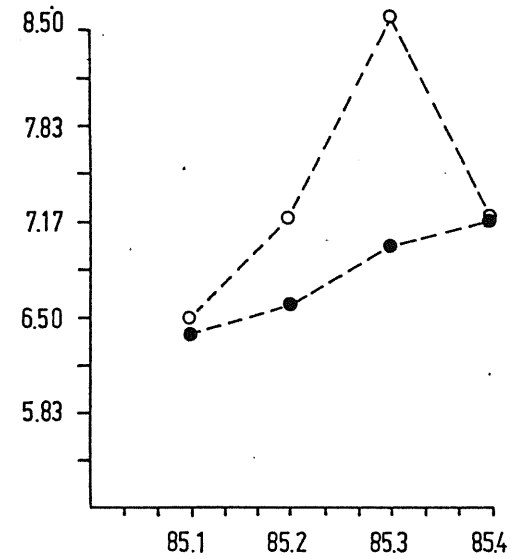
Kuva 60 Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



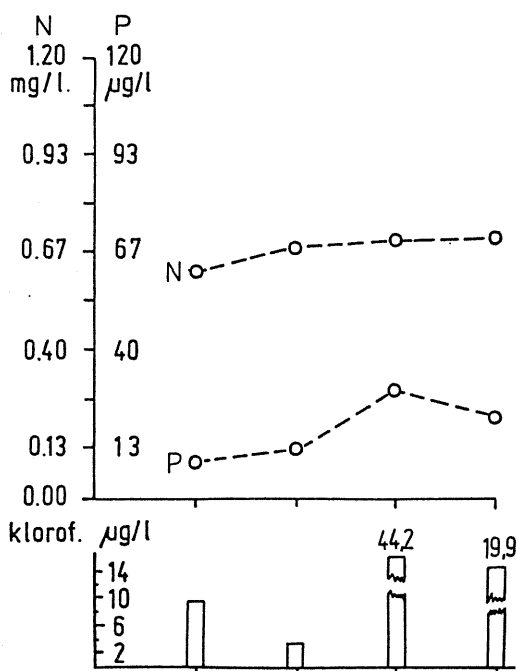
Kuva 61 Piihappopitoisuus mg/l.



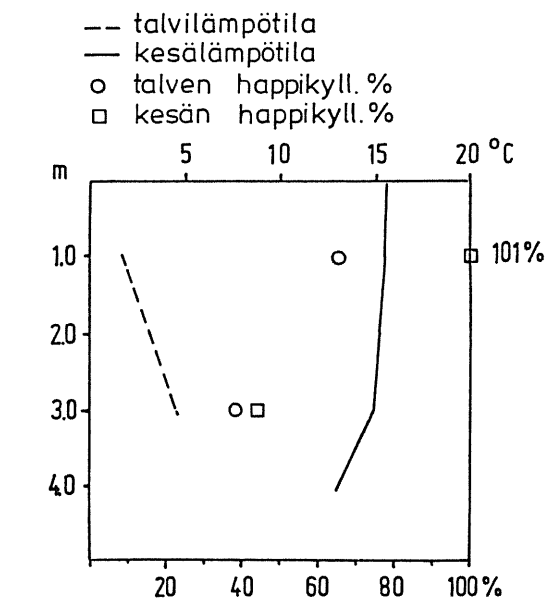
Kuva 62 Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 63 pH



Kuva 64 Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 65 Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

### 6.3.2 Turun vesi- ja ympäristöpiirin alue

#### 6.3.2.1 Yleistä

Turun alueen kaikki tutkimuspisteet ovat valuma-alueilla, joilla soranotto on ulottunut pohjavedenpinnan alapuolelle. Tutkimuspisteitä oli vuoden 1985 aikana 18 (taulukko 10). Koko tutkimuksen syvimvät lammikot (13,7 m, 12,4 m ja 11,7 m) sijaitsevat tällä alueella.

Alueiden suurin puute on ettei niille ole voitu asentaa luonnontilaiselle alueelle vertailuputkia soranoton laajuuden vuoksi. Useita tutkimuspaikkoja on tämän vuoksi jouduttu jättämään jatkotutkimuksista pois. Taulukossa 10 olevista näytepaikoista ainoastaan V-loppuisilla tunnuksilla merkittyjen näytepaikkojen vedenlaatua käsitellään tässä raportissa ja nämä paikat tulevat mukaan jatkotutkimuksiin. Liiteosassa on kuitenkin vedenlaatutiedot kaikista näytepaikoista.

Taulukko 10. Turun vesi- ja ympäristöpiirin vesinäytteet

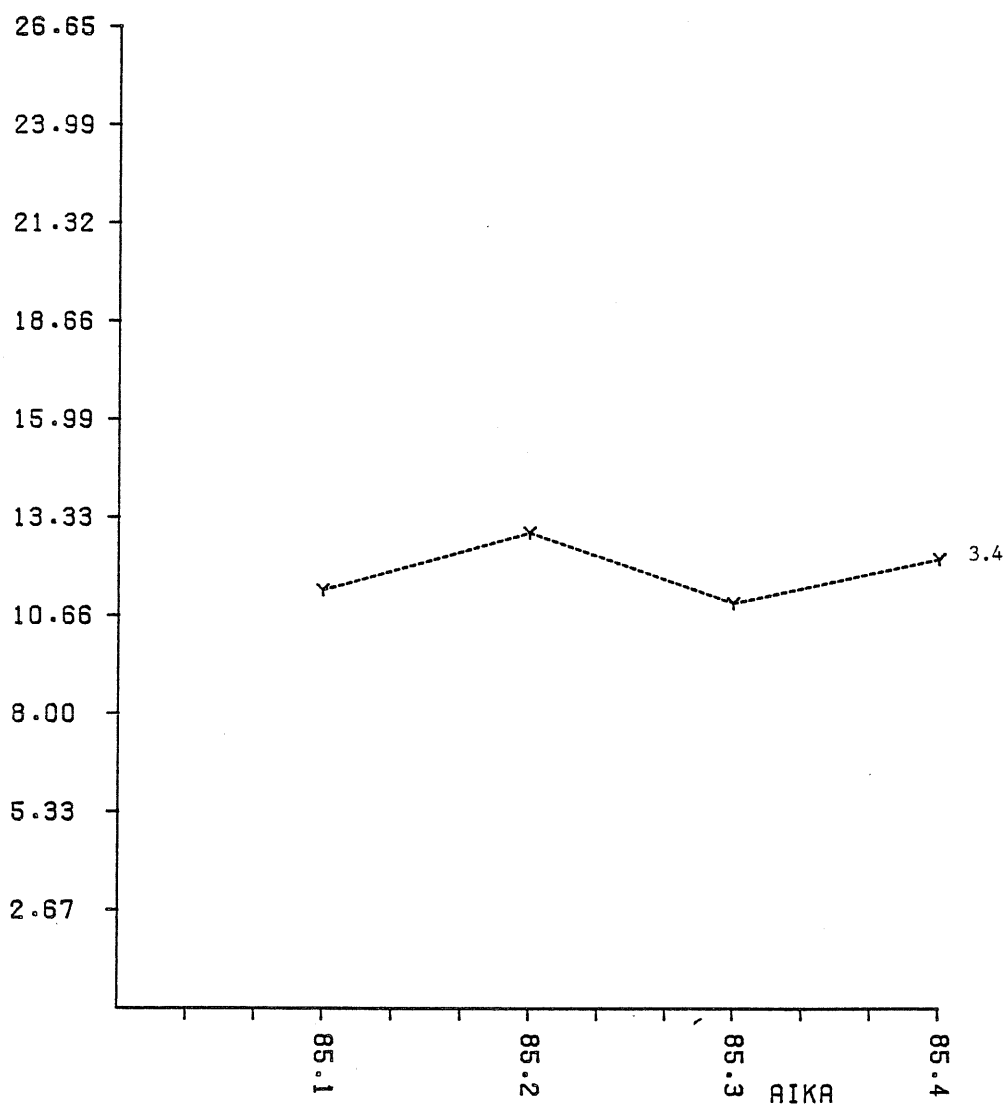
Nummensuo	T111AE 3.4	Nummensuon ottamo	näyte	1 m pinnasta
	T112AE 3.4	Nummensuon II ottamo		1 m pinnasta
	T113AE 3.4	Lammikko 4 (6,0 m)		1 m pinnasta
	T113BE 3.4	Lammikko 4 (6,0 m)		1 m pohjasta
Saari	T121AV 3.4	Lammikko 1 (2,9 m)		1 m pinnasta
	T122AE 3.4	Lähde		
	T123AE 3.4	Putki		1 m pinnasta
	T123BE 3.4	Putki		4 m pinnasta
	T123CE 3.4	Putki		7 m pinnasta
	T124AV 3.4	Lammikko 2 (5,6 m)		1 m pinnasta
	T124BV 3.4	Lammikko 2 (5,6 m)		1 m pohjasta
	T125AV 3.4	Lammikko 3 (11,7 m)		1 m pinnasta
	T125BV 3.4	Lammikko 3 (11,7 m)		5 m pinnasta
	T125CV 3.4	Lammikko 3 (11,7 m)		1 m pohjasta
Masku	T211AV 3.4	Alhon ottamo		1 m pinnasta
	T212AV 3.4	Lammikko 1 pohj. (12,4 m)		1 m pinnasta
	T212BV 3.4	Lammikko 1 pohj. (12,4 m)		5 m pinnasta
	T212CV 3.4	Lammikko 1 pohj. (12,4 m)		1 m pohjasta
	T213AE 3.4	Lammikko 2 (13,7 m)		1 m pinnasta
	T213BE 3.4	Lammikko 2 (13,7 m)		5 m pinnasta
	T213CE 3.4	Lammikko 2 (13,7 m)		1 m pohjasta
Rusko	T311AE 3.4	Lentokentän ottamo		1 m pinnasta
	T321AE 3.4	Munittulan ottamo		1 m pinnasta
	T331AV 3.4	Antintalon ottamo		1 m pinnasta
	T332AV 3.4	Lammikko 1 (6,0 m)		1 m pinnasta
	T332BV 3.4	Lammikko 1 (6,0 m)		1 m pohjasta
	T333AV 3.4	Lammikko 2 (5,5 m)		1 m pinnasta
	T333BV 3.4	Lammikko 2 (5,5 m)		1 m pohjasta
	T334AV 3.4	Antintalon lähde		

### 6.3.2.2 Lammikkovesi

Turun vesi- ja ympäristöpiirin kaikki tutkimuksessa mukana olevat lammikot ovat vanhoja, eikä niistä enää nosteta soraa.

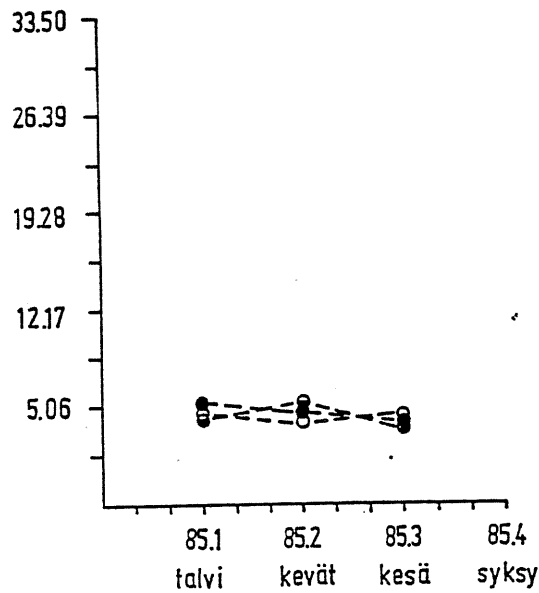
Lammikot ovat syviä ja kaikki muut paitsi Paimion Saaren lammikot sijaitsevat pohjaveden päävirtauskentässä.

Lammikkovesien kokonaiselektrolyyttipitoisuudet ovat koko aineistoon verrattuna korkeita (kuva 66), erityisesti sulfaattipitoisuudet ovat korkeita.

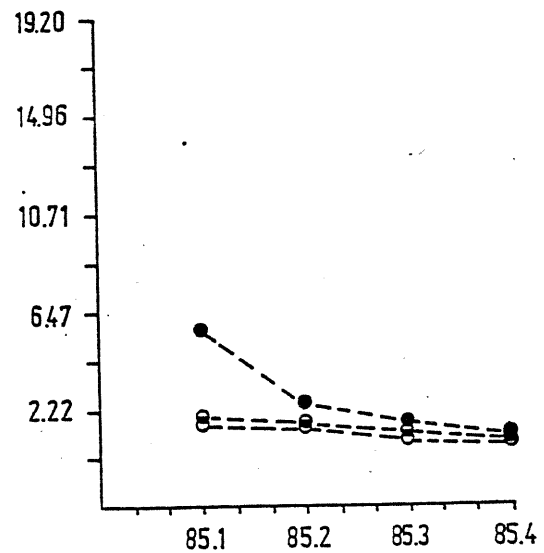


Kuva 66. Turun vesi- ja ympäristöpiirin lammikkovesinäytteiden sähkönjohtavuuden (mS/m, 25 °C) mediaaniarvot. (3.4 = laaja pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto päättynyt)

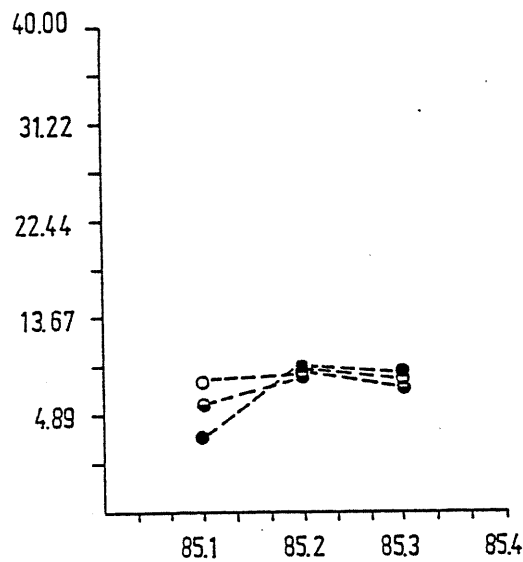




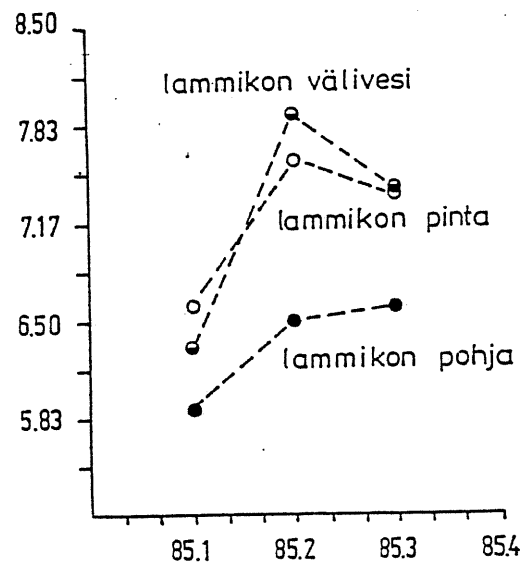
Kuva 67. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



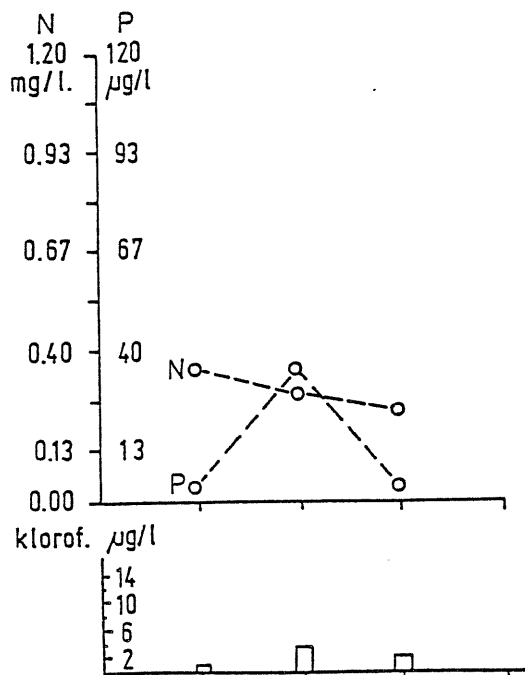
Kuva 68. Piilihappopitoisuus mg/l.



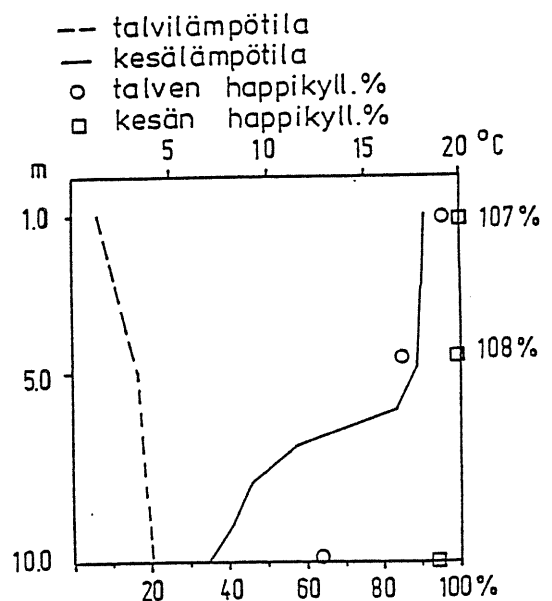
Kuva 69. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 70. pH



Kuva 71. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 72. Talvi- ja kesänytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Alho

	Sameus FTU	T211AV	T212AV	T212CV	T212BV
Soranotto-	Sähkönjoht. mS/m 25C	C.45	4.95	6.60	2.10
tilanne 3.4.	Alkaliniteetti mval/l	16.90	16.70	18.60	17.05
(ollut laa-	Väriluku Pt mg/l	0.53	0.61	0.82	0.71
jalti pohja-	KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	5.00	10.00	22.50	12.50
vedenpinnan	Kokonaistyyppi N mg/l	3.15	3.55	4.80	4.05
alapuolista	Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.12	0.14	0.19	0.13
soranottoa).	Kokonaisfosfori P ug/l	0.40	0.01	0.01	0.00
	Kloridi Cl mg/l	2.50	10.50	20.00	11.50
	Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	17.00	16.50	16.00	15.50
	Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	22.50	21.00	24.00	22.00
	Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	4.10	7.70	9.35	8.75
	Orgaaninen hiili C mg/l	9.30	1.70	1.75	1.80
T211AV =	Kalsium Ca mg/l	0.80	11.50	14.00	12.00
ottamo	Magnesium Mg mg/l	12.00	5.35	6.30	5.55
T212AV =	Natrium Na mg/l	5.50	11.00	12.00	11.00
lammikon	Kalium K mg/l	11.00	2.10	2.10	2.05
pintanäyte 1 m	Rauta Fe mg/l	2.10	<0.05	<0.05	<0.05
T212BV =	Mangaani Mn mg/l	<0.05	<0.02	0.08	0.04
lammikon	Kupari Cu ug/l	1.65	1.40	1.20	1.80
keskinäyte 5 m	Lyijy Pb ug/l	0.50	<0.50	<0.50	<0.50
T212CV =	Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
lammikon	Kromi Cr ug/l	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
pohjanäyte 10 m	Koboltti Co ug/l	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
	Alumiini Al ug/l Suod.	26.50	26.00	21.00	23.00

Liiteosan sivut . Taulukko 12. Vuoden 1985 ottamo- ja  
69 - 77. lammikkonäytteiden medi-  
aaniarvot

Tutkimusalueella on kaksi näytepaikkaa: Alhon vedenottamo ja siitä n. 100 metrin päässä ylävirran puolella oleva 12,4 metrin syvyinen lammikko. Lammikko on 2 ha suuruinen. Muodostuma on hiekkavaltainen harju. Sekä ottamo että lammikko sijaitsevat harjun alla olevan ruhjeen kohdalla.

Muodostuman hiekka on kaivettu lähes kokonaan pois. Alueella on asutusta ja vilkkaasti liikennöity päätie.

Lammikko sijaitsee harjun ydinosassa, pohjaveden päävirtauskentässä. Sähkönjohtavuusarvot ovat korkeat, piihappopitoisuudet ja alkaliniteetti- arvot ovat melko korkeita. Alkaliniteetti on pohjaosissa selvästi korkeampi kuin pinnassa. Vesi on koko vuoden lähes neutraalia pH-arvoltaan. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on pieni.

Lammikon vesi on lämpötilakerrostunut ja pohjalla on selvä hapenvajaus.

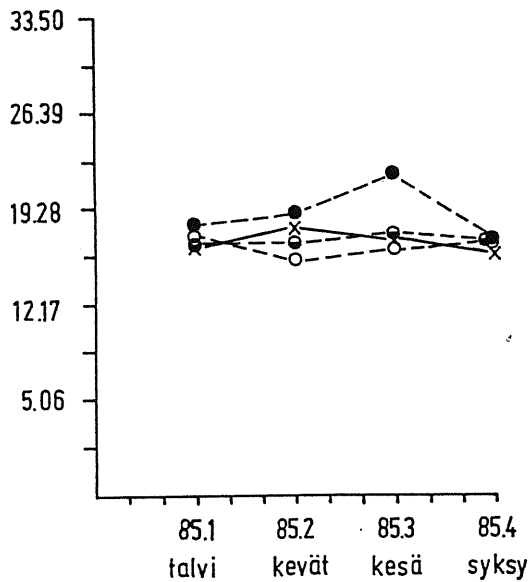
Ravintetaso on vähäinen. Tuotantotaso on kohtalainen, keskikesällä jopa alhainen. Typen vähyys rajoittaa tuotantoa.

Lammikon vedessä on ajoittain indikaattoribakteereja, mutta vain pieniä määriä.

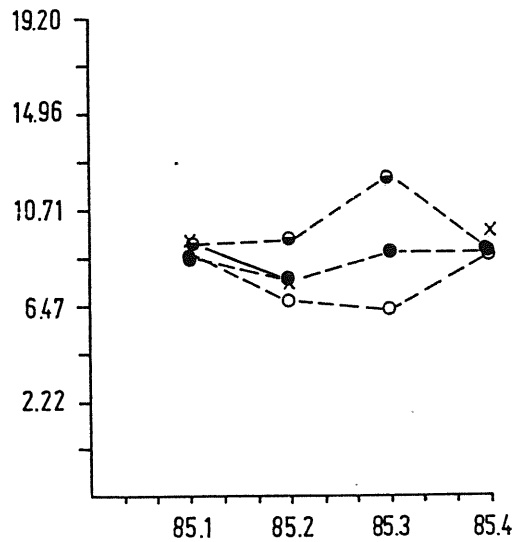
Vedenottamon vedenlaatu on hyvä.

Lammikolla on välitön vaikutus vedenottamon vedenlaatuun.

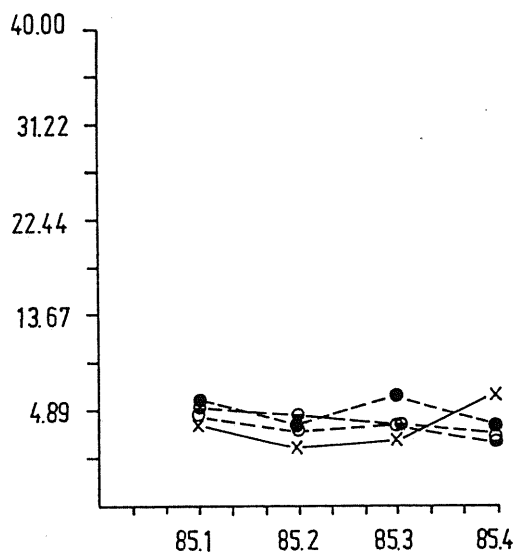




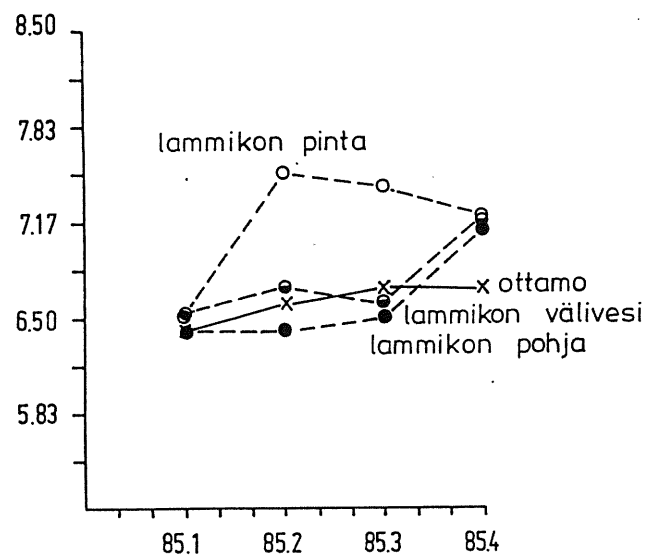
Kuva 73 Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



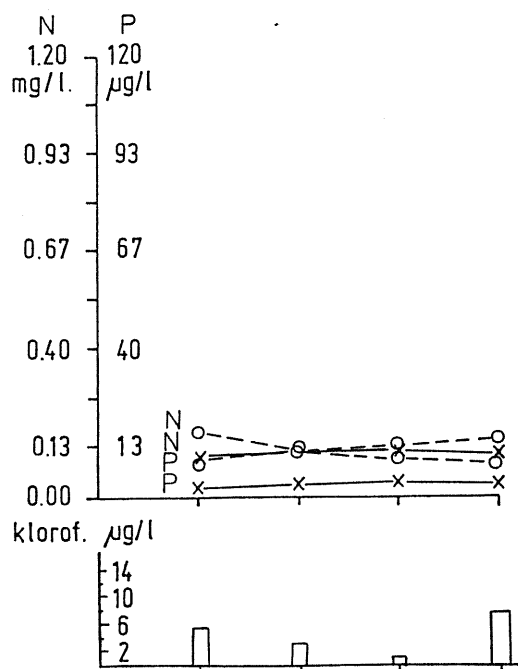
Kuva 74 Piihappopitoisuus mg/l.



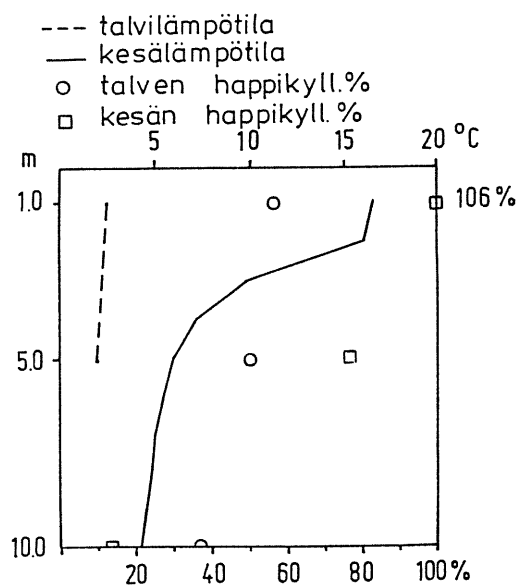
Kuva 75 Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 76 pH



Kuva 77 Kokonaistyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 78 Talvi- ja kesänätteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Ruskon lammikko

## Soranottotilanne

3.4. (ollut laajalti pohjavedenpinnan alapuolista soranottoa).

T333AV = lammikon pintanäyte 1.0 m

T333BV = lammikon pohjanäyte, 4 m

	T333AV	T333BV
Sameus FTU	2.75	2.70
Sähkönjoht. mS/m 25C	11.05	15.55
Alkaliniteetti mval/l	0.31	0.63
Väriluku Pt mg/l	15.00	15.00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	7.85	6.40
Kokonaistyyppi N mg/l	0.26	0.29
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.10	0.09
Kokonaisfosfori P ug/l	12.00	14.50
Kloridi Cl mg/l	7.90	19.00
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	17.60	19.50
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	4.05	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	3.00	6.75
Orgaaninen hiili C mg/l	2.75	2.20
Kalsium Ca mg/l	7.45	9.70
Magnesium Mg mg/l	3.30	4.95
Natrium Na mg/l	5.80	9.80
Kalium K mg/l	1.65	1.85
Rauta Fe mg/l	<0.05	<0.05
Mangaani Mn mg/l	<0.02	0.05
Kupari Cu ug/l	2.65	1.60
Lyijy Pb ug/l	<0.50	<0.50
Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	<0.50
Koboltti Co ug/l	<0.50	<0.50
Alumiini Al ug/l Suod.	28.50	31.00

Liiteosan sivut  
78 - 87.

Taulukko 13. Vuoden 1985 lammikonäytepisteiden mediaaniarvot

Tutkimusalue on kapeassa harjussa. Näytteet otetaan harjun ydinosassa olevasta 5,5 m syvästä, 1,6 ha:n kokoisesta lammikosta.

Harjusta on otettu runsaasti soraa, kallioon asti. Soranoton lisäksi alueen pohjavettä rasittaa vilkkaasti liikennöity tie.

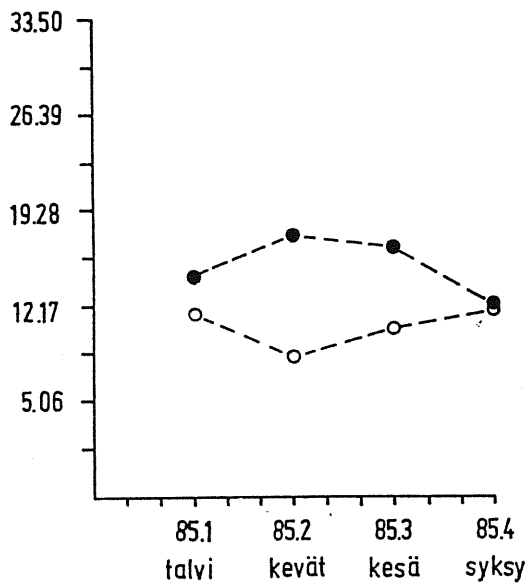
Lammikon veden läpivirtausominaisuus ei ole kovin voimakas. Sähkönjohtavuusarvot ovat korkeita. SiO<sub>2</sub>-pitoisuuden, pH:n ja alkaliniteetin vuodenaikaisvaihtelut ovat suuria. Myös erot pinta- ja pohjanäytteissä ovat suuret. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on hieman keskitasoa korkeampi.

Vesi on lämpötilakerrostunut ja talvella on lievää hapen-  
vajausta.

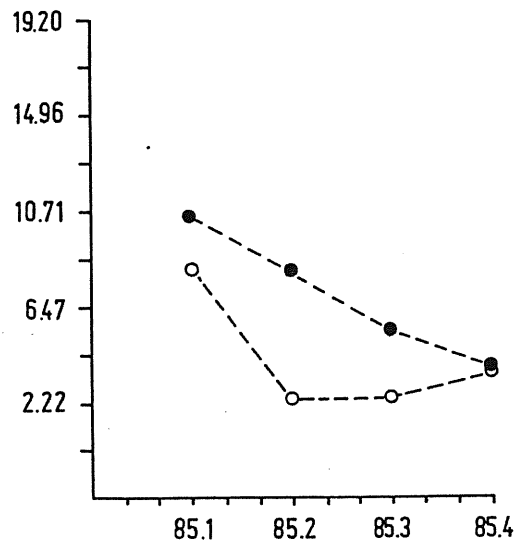
Ravinnetaso on kohtalaisen alhainen ja tuotanto on kohtalainen. Ensisijaisesti tyyppi rajoittaa tuotantoa.

Lammikon vedessä ei ole esiintynyt indikaattoribakteereja.

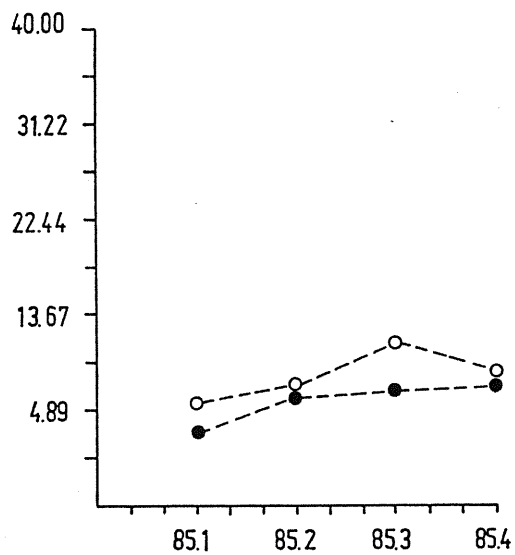
Lammikon vesi on hyvälaatuinen. Vedessä on sekä pohjaveden että pintaveden ominaisuuksia, vedessä on poikkeuksellisen selvä kemiallinen kerroksellisuus.



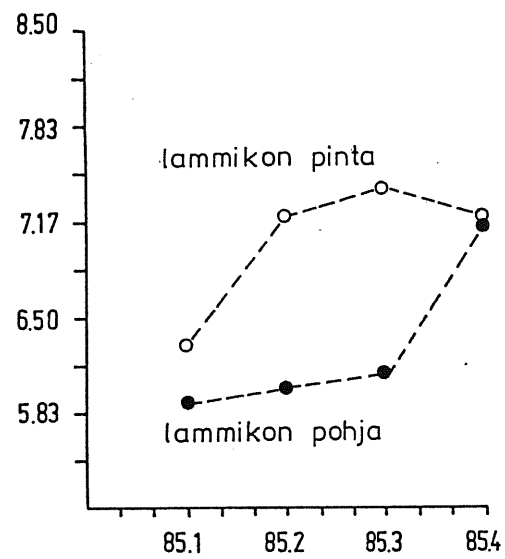
Kuva 79. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



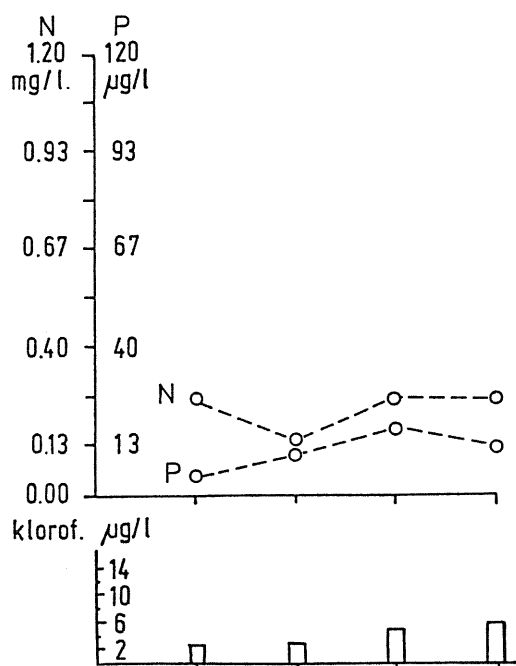
Kuva 80. Piihappopitoisuus mg/l.



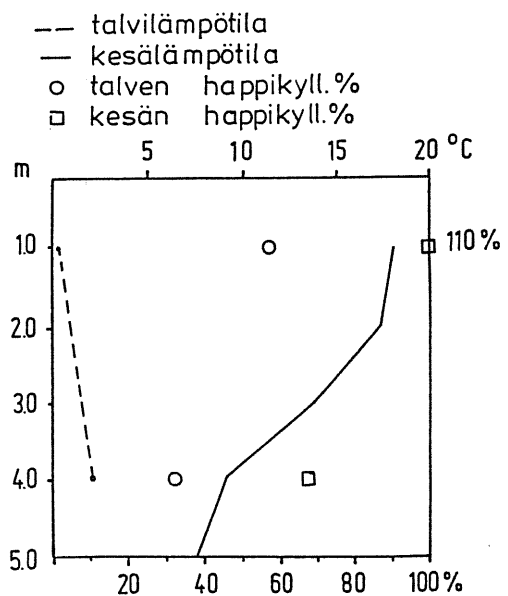
Kuva 81. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 82. pH



Kuva 83. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 84. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

		T331AV	T332AV	T332BV
		C.95	5.45	3.95
<u>Antintalo</u>	Sameus FTU	12.15	10.95	11.25
	Sähkönjoht. mS/m 25C	C.41	C.34	C.36
	Alkaliniteetti mval/l	5.00	17.50	12.50
	Väriluku Pt mg/l	2.20	5.05	5.85
	KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	C.27	C.28	C.27
	Kokonaistyyppi N mg/l	1.10	<C.01	C.05
	Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	9.00	14.00	15.00
	Kokonaisfosfori P ug/l	7.00	7.70	6.50
	Kloridi Cl mg/l	21.00	19.60	19.10
	Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l		3.30	
	Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	10.40	6.05	6.85
	Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	C.90	1.85	2.45
	Orgaaninen hiili C mg/l	7.85	8.10	8.05
	Kalsium Ca mg/l	4.25	3.40	3.45
	Magnesium Mg mg/l	2.08	1.94	1.93
	Kokonaiskovuus dH	6.60	6.10	6.05
	Natrium Na mg/l	1.90	1.65	1.65
	Kalium K mg/l	C.09	<C.05	<C.05
	Rauta Fe mg/l	<C.02	<C.02	<C.02
	Mangaani Mn mg/l	1.25	1.35	1.30
	Kupari Cu ug/l	<C.50	<C.50	<C.50
	Lyijy Pb ug/l	<C.10	<C.10	<C.10
	Kadmium Cd ug/l	<C.50	<C.50	<C.50
	Kromi Cr ug/l	<C.50	<C.50	<C.50
	Koboltti Co ug/l	14.00	88.00	19.00
	Alumiini Al ug/l Suod.			

Liiteosan sivut  
78 - 87.

Taulukko 14. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikkonäytteiden medi-  
aaniarvot

Tutkimusalue on kapean harjun osittain savenpeittämässä päässä. Näytteet otetaan vedenottamosta ja sen ylävirran puolella 100 m päässä olevasta 6 metrin syvyydestä lammikosta. Lammikko on pinta-alaltaan pieni, 0,2 ha kokoinen.

Harjusta on otettu runsaasti soraa, lisäksi alueen pohjavettä rasittaa vilkkaasti liikennöity päätie ja maatalous.

Lammikko sijaitsee pohjaveden päävirtauskentässä. Sähkönjohtavuusarvot ovat samaa suuruusluokkaa kuin vedenottamon vedessä. SiO<sub>2</sub>-pitoisuuden kesäinen lasku on suuri, ja kesäiset pitoisuudet ovat pieniä, talvi- ja syksy- arvot ovat samaa suuruusluokkaa kuin ottamon vedessä. Alkaliniteetti- arvot ovat kohtalaisia ja vuodenaikaisvaihtelut ovat pieniä. Lammikon pH-arvo kohoaa kesällä vain pintavedessä. Lammikon pohjaosan vesi ja ottamon vesi on lievästi hapanta. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on pieni.

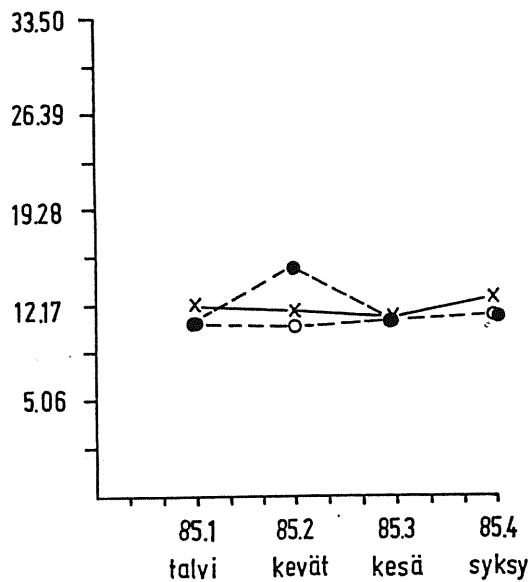
Lammikon vesi on lämpötilakerrostunut ja happitilanne on hyvä.

Lammikon ravinnetaso on kohtalaisen alhainen. Tuotantotaso on kohtalainen. Alhainen ravinnetaso rajoittaa tuotantoa.

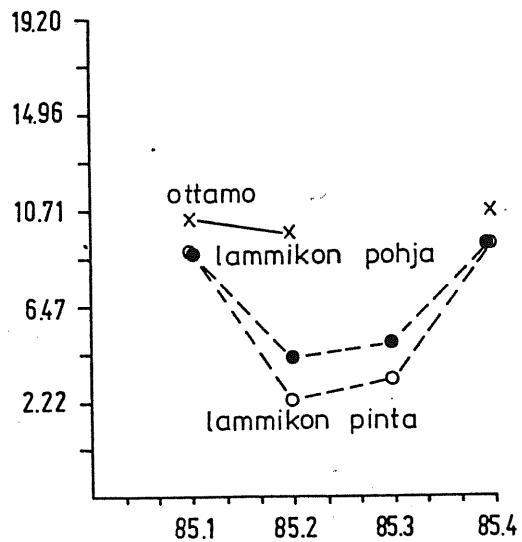
Lammikon vedessä on lievää hygieenistä likaantumista.

Vedenottamon vesi on hyvälaatuista.

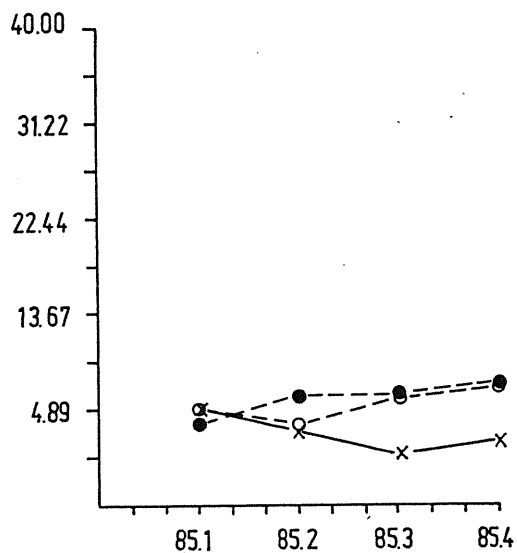
Lammikossa on sekä pinta- että pohjaveden piirteitä.



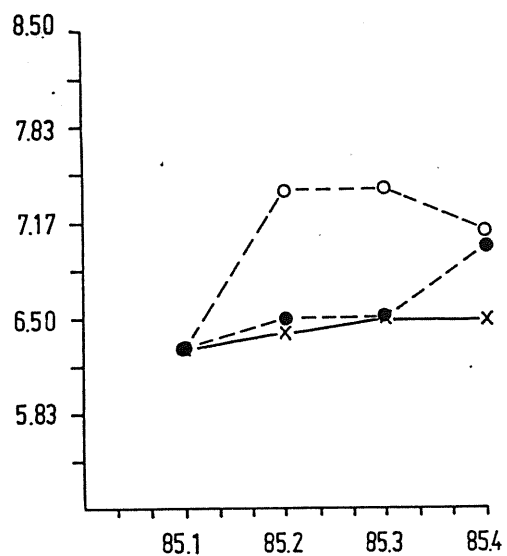
Kuva 85 Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



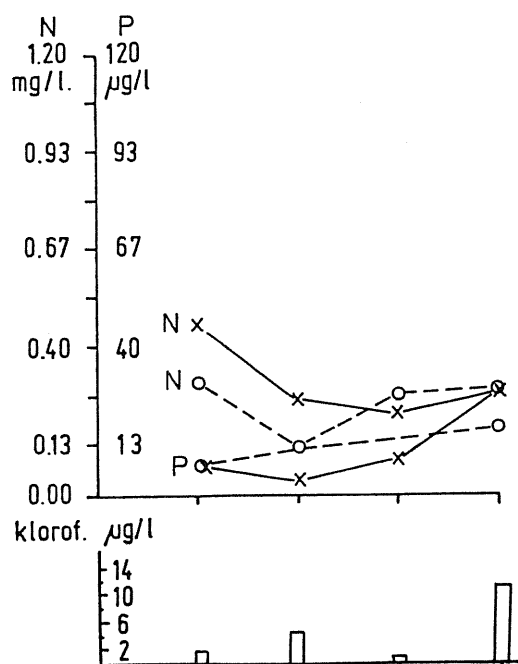
Kuva 86 Piihappopitoisuus mg/l.



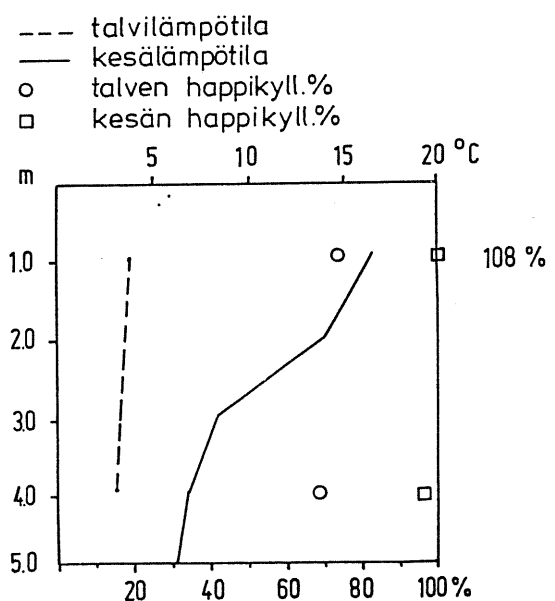
Kuva 87 Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 88 pH



Kuva 99 Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 90. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

### 6.3.3 Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin alue

#### 6.3.3.1 Yleistä

Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin alueella oli viisi harjua tutkimuskohteena vuoden 1985 aikana (taulukko 15). Kaikkien harjujen joissain osissa oli soranotto ulottunut jo pohjavedenpinnan alapuolelle. Tutkimusalueilla oli sama ongelma kuin useimmilla Turun ja Kokkolan alueilla: vertailuputkien puute: Kokkokankaan, Haaruskankaan ja Kolnebackenin alueille saatiin vertailuputket valmiiksi vuoden 1985 lopussa ja ensimmäiset näytteet saatiin talvella 1986. Nämä kolme tutkimusaluetta valittiin mukaan seuraavien vuosien jatkotutkimuksiin.

Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin alueella oli vuoden 1985 aikana myös kaksi erityistutkimusaluetta, Ekokangas ja Pensalankangas (luku 7.5.7). Alueilla seurattiin tilannetta, jossa soranoton yhteydessä oli tapahtunut toimia, jotka selvästi heikensivät pohjaveden laatua.

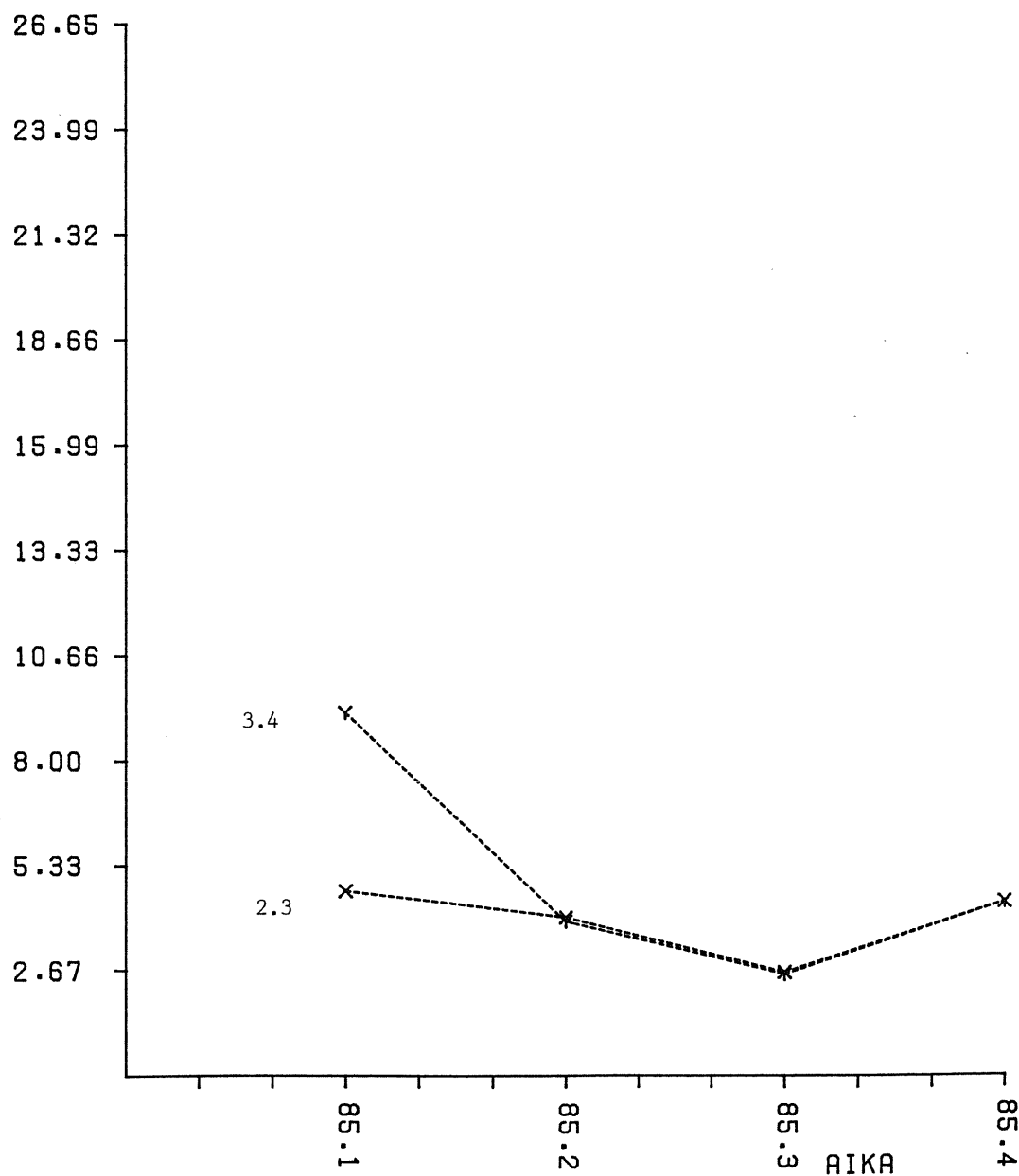
#### 6.3.3.2 Pohjavesi

Kokkokankaan tutkimusalueella on käyttämätön vedenottamon kaivo, josta on otettu näytteet kevästä 1985 lähtien. Kaivo sijaitsee pohjavedenpinnan yläpuolisen soranottoalueen reunassa niin, että suurin osa sen valuma-alueesta on luonnontilaista. Kokonaan luonnontilaisella valuma-alueella on havaintoputki vertailupisteenä, mutta siitä saatiin vain syksynäyte vuonna 1985 asennustöiden viivästymisen vuoksi. Kokkokankaan delta on hienoa hiekkaa.

Kaivon vesi on elektrolyyttiköyhää, vedessä on vähemmän suoloja kuin läheisen lammikon vedessä, ainoastaan nitraattipitoisuudet ovat suuremmat. Vesi on melko hapanta, mutta kesällä pH nousee neutraaliksi. Vesi on hyvälaatuista.

## 6.3.3.3 Lammikkovesi

Lammikkovesiä on tutkittu kolmella alueella. Kolinan ja Haaruskankaan alueilla on lammikoiden vieressä käytössä oleva vedenottamo. Kokkokankaalla oleva vedenottamon kaivo ei ole ollut käytössä eikä siitä otettuja näytteitä näin ollen voi suoraan verrata käytössä olevien vedenottamoiden veteen. Kuvassa 91 on alueen lammikkovesien keskimääräiset elektrolyyttipitoisuudet vuoden 1985 aikana.



Kuva 91. Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin lammikkovesinäytteiden sähkönjohtavuuden (mS/m, 25 °C) mediaaniarvot soranottotilanteen mukaan jaoteltuna. (2.3 = laaja pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto käynnissä, 3.4 = laaja pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto päättynyt).

Taulukko 15. Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin vesinäytepisteet

Kolina- Kolnebacken; Maalahti	V111AV 3.4	Kolinan ottamo	näyte	1 m pinnasta
	V112AV 3.4	Kolinan lammikko		1 m pinnasta
	V112BV 3.4	Kolinan lammikko		1 m pohjasta
	V121AV 2.2	Kolnebackenin ottamo		1 m pinnasta
	V122AV 1.0	Kolnebackenin vertailuputki		
Kokkokangas Isokyrö	V211AV 1.0	Vertailuputki eteläosassa		1 m pinnasta
	V212AV 2.2	Kaivo soranottoalueella		1 m pinnasta
	V213AV 2.3	etelälammi		1 m pinnasta
	V213BV 2.3	"		1 m pohjasta
	V214AV 2.3	pohjoislammi		1 m pinnasta
	V214BV 2.3	pohjoislammi		1 m pohjasta
Ekokangas Alahärmä	V311AE 3.1	et. putki		1 m pinnasta
	V312AE 3.2	et. lammikko		1 m pinnasta
	V313AE 1.0	pohj. lammikko		1 m pinnasta
	V314AE 1.0	pohj. putki		1 m pinnasta
	V315AE 1.0	pohj. rautaputki		1 m pinnasta
Pensalan- kangas Oravainen	V321AE 1.0	ottamo		1 m pinnasta
	V322AE 2.3	et. pitkä lammikko		1 m pinnasta
	V322BE 2.3	et. pitkä lammikko		1 m pinnasta
	V323AE 2.3	kesk. lammikko		1 m pinnasta
	V323BE 2.3	kesk. lammikko		1 m pohjasta
	V324AE 2.3	pohj. lammikko		1 m pinnasta
	V324BE 2.3	pohj. lammikko		1 m pohjasta
Haarus- kangas Alahärmä	V412AV 3.4	et. lammikko		1 m pinnasta
	V412BV 3.4	et. lammikko		1 m pohjasta
	V413AV 3.4	pohj. lammikko		1 m pinnasta
	V413BV 3.4	pohj. lammikko		1 m pohjasta
	V414AV 3.4	vanha ottamo		1 m pinnasta
	V415AV 1.0	vertailuputki pohj.		1 m pinnasta





Kolina

Soranottotilanne  
3.4. (ollut aikai-  
semmin laajasti  
pohjavedenpinnan  
alapuolista soran-  
ottoa).

V111AV = ottamo  
V112AV = lammikon  
pintanäyte, 1 m  
V112BV = lammikon  
pohjanäyte, 2 m

	V111AV	V112AV	V112BV
Sameus FTU	4.7C	1.9C	2.7C
Sähkönjoht. mS/m 25C	18.0C	9.35	14.2C
Alkaliniteetti mval/l	0.56	0.48	0.54
Väriluku Pt mg/l	35.0C	17.5C	20.0C
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	6.3C	9.75	7.0C
Kokonaistyyppi N mg/l	0.15	0.2C	0.25
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.32	0.11	0.03
Kokonaisfosfori P ug/l	28.0C	15.0C	16.0C
Kloridi Cl mg/l	6.1C	4.65	4.8C
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	43.0C	22.5C	28.0C
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>		2.4C	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	12.0C	5.65	13.9C
Orgaaninen hiili C mg/l	3.0C	3.55	3.5C
Kalsium Ca mg/l	9.8C	6.05	8.5C
Magnesium Mg mg/l	6.8C	4.55	5.8C
Natrium Na mg/l	11.0C	6.7C	8.3C
Kalium K mg/l	2.5C	1.8C	2.5C
Rauta Fe mg/l	0.97	0.08	0.09
Mangaani Mn mg/l	0.07	0.13	0.39
Kupari Cu ug/l	2.6C	3.25	3.4C
Lyijy Pb ug/l	0.6C	<0.5C	<0.5C
Kadmium Cd ug/l	0.1C	<0.1C	0.1C
Kromi Cr ug/l	<0.5C	<0.5C	<0.5C
Koboltti Co ug/l	2.2C	<0.5C	5.1C
Alumiini Al ug/l Suod.	37.0C	11.65	11.0C

Liiteosan sivut  
88 - 93.

Taulukko 16. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikkonäytteiden medi-  
aaniarvot

Tutkimuspisteinä ovat vedenottamo ja sen sivulla 50 metrin  
päässä 3 m syvä lammikko. Lammikon koko on 0,3 ha. Harju on  
kapea, karkeasorainen ja paikoin moreenin peittämä muodos-  
tuma.

Muodostuman aines on kaivettu paikoin pois ja pohjavesi on  
paljastettu useissa kohdin. Harjun päällä on melko vilkas-  
liikenteinen tie.

Lammikon vesi ei ole voimakkaasti virtaava, mutta pohjalla  
vaikuttaa virtausta olevan muulloin paitsi kesällä. Sähkön-  
johtavuusarvojen ja piihappopitoisuuksien vuodenaikaisvaiht-  
elut ovat suuria. Alkaliniteetti on korkeahko. Lammikon ja  
ottamon vesi on lievästi hapanta. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on melko  
suuri.

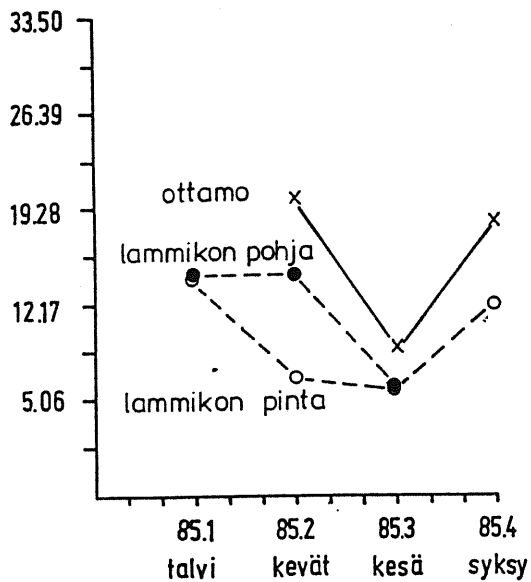
Lammikon vesi ei ole lämpötilakerrostunutta. Talvella lammi-  
kossa on voimakas hapenvajaus ja loppukesällä huomattava  
ylikyllästys.

Lammikon ravinnepitoisuus on kohtalaisen vähäinen. Tuotanto-  
taso on alhainen. Kesällä lähinnä typpi rajoittaa tuotantoa.

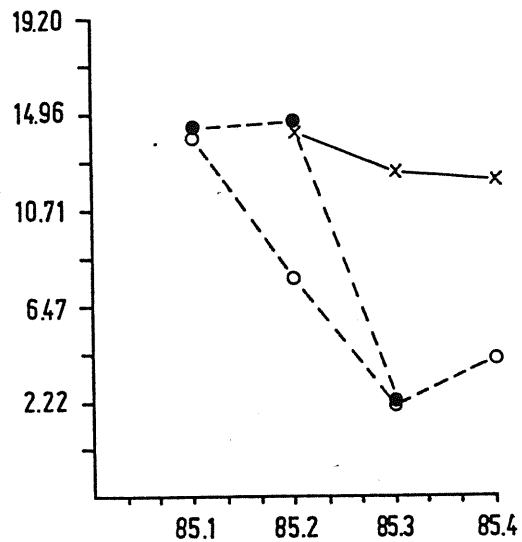
Lammikkovedessä on pieniä määriä koliformisia bakteereita.

Vedenottamon vesi on laadultaan tyydyttävä. Joidenkin  
raskasmetallien pitoisuudet ovat korkeahkoja.

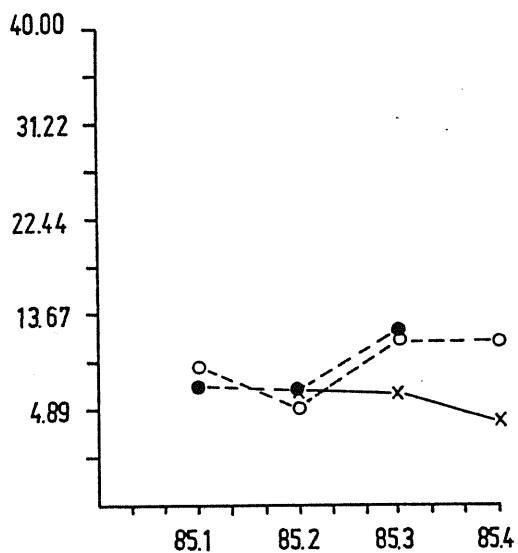
Lammikon vedenlaatu vaihtelee voimakkaasti vuodenaikojen  
mukaan. Lammikko vaikuttaa selvästi ottamon vedenlaatuun.



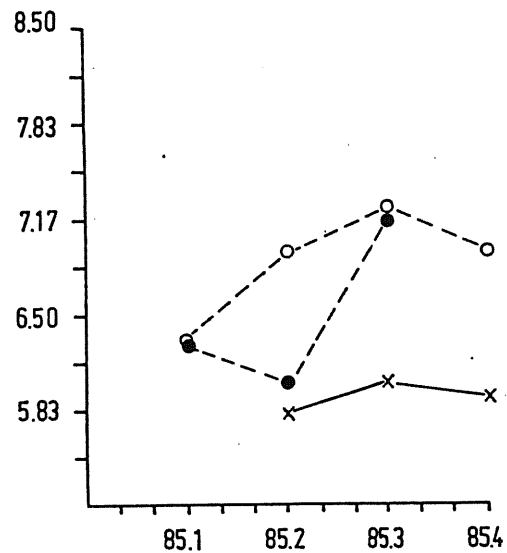
Kuva 92 Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



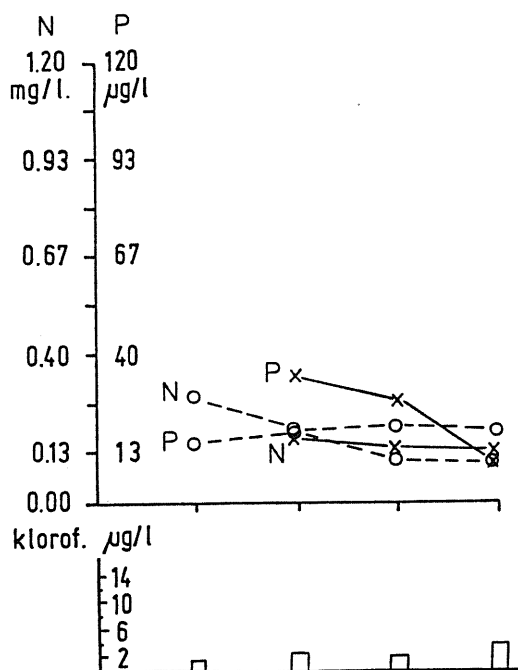
Kuva 93 Piihappopitoisuus mg/l.



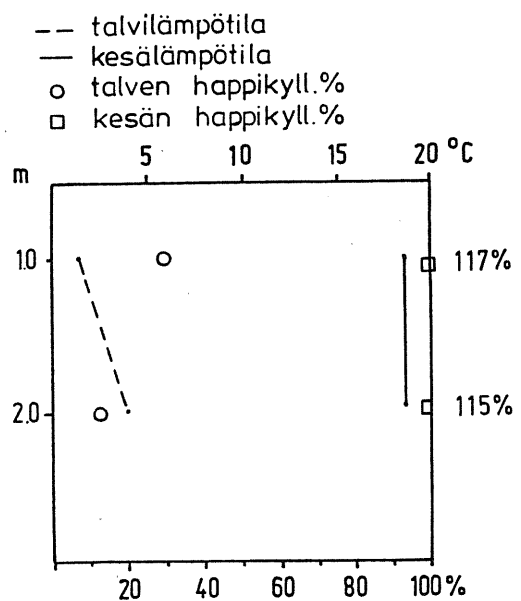
Kuva 94 Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 95 pH



Kuva 96 Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 97 Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Kokkokangas, et. lammikko

Soranottotilanne  
2.3. (laajamittai-  
nen soranotto  
käynnissä pohja-  
vedenpinnan ylä-  
puolella).

V213AV = lammikon pinta-  
näyte, 1 m

V213BV = lammikon pohja-  
näyte, 5 m

	V213AV	V213BV
Sameus FTU	1.00	3.30
Sähkönjoht. mS/m 25C	3.70	4.10
Alkaliniteetti mval/l	0.17	0.21
Väriluku Pt mg/l	10.00	12.50
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	3.20	3.50
Kokonaistyyppi N mg/l	0.13	0.11
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.12	0.03
Kokonaisfosfori P ug/l	9.00	12.50
Kloridi Cl mg/l	1.60	1.80
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	8.10	7.50
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	1.65	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	10.45	11.75
Orgaaninen hiili C mg/l	1.20	1.55
Kalsium Ca mg/l	2.90	3.30
Magnesium Mg mg/l	0.56	0.59
Natrium Na mg/l	2.45	2.70
Kalium K mg/l	0.75	0.70
Rauta Fe mg/l	<0.05	<0.05
Mangaani Mn mg/l	<0.02	<0.02
Kupari Cu ug/l	1.70	1.20
Lyijy Pb ug/l	<0.50	<0.50
Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	<0.50
Koboltti Co ug/l	1.05	<0.50
Alumiini Al ug/l Suod.	6.80	6.40

Liiteosan sivut  
94 - 101.

Taulukko 17. Vuoden 1985 lammikonäyt-  
teiden mediaaniarvot

Tutkimusalue on hiekkavaltainen delta. Lammikko on 6 metrin syvyinen ja 2,0 ha kokoinen. Lammikko sijaitsee harjun ydin-osassa, pohjaveden päävirtauskentässä.

Alueelta otetaan jatkuvasti soraa pohjavedenpinnan yläpuolelta. Lammikon pohjasta ei enää nosteta soraa. Alueella ei ole muuta toimintaa, mikä rasittaisi pohjavettä.

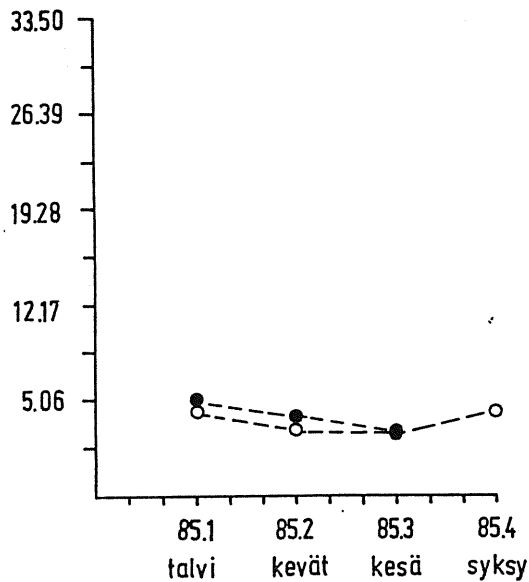
Lammikon vesi on läpivirtausvettä. Sähkönjohtavuusarvot ovat pienet ja piihappopitoisuudet ovat lammikkovedeksi erittäin korkeita. Alkaliniteetti on melko pieni ja vesi on hapanta. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on hyvin pieni.

Vesi ei ole lämpötilakerrostunut ja talvella on voimakas hapenvajaus.

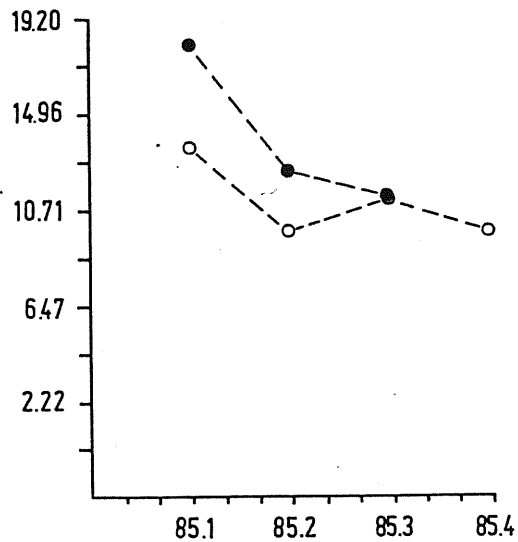
Vedessä on hyvin vähän ravinteita. Tuotanto on erittäin pieni. Alhainen ravinnetaso rajoittaa tuotantoa.

Indikaattoribakteereja on vain vähän.

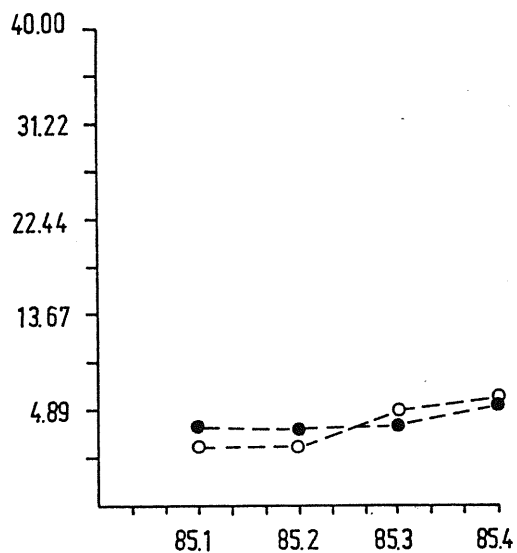
Lammikon luonne määräytyy voimakkaan pohjavesivaikutuksen mukaisesti, mistä johtuen lammikko on karu.



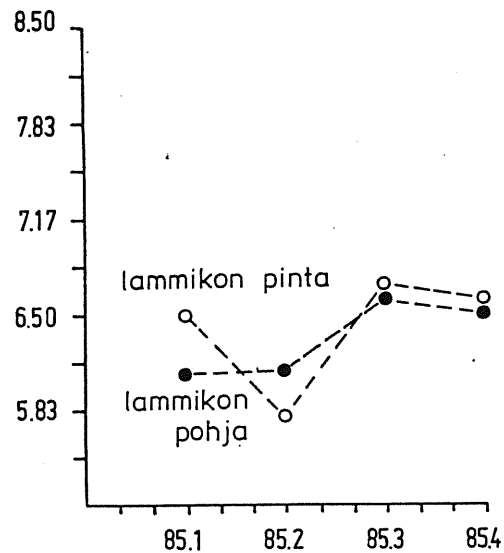
Kuva 98. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



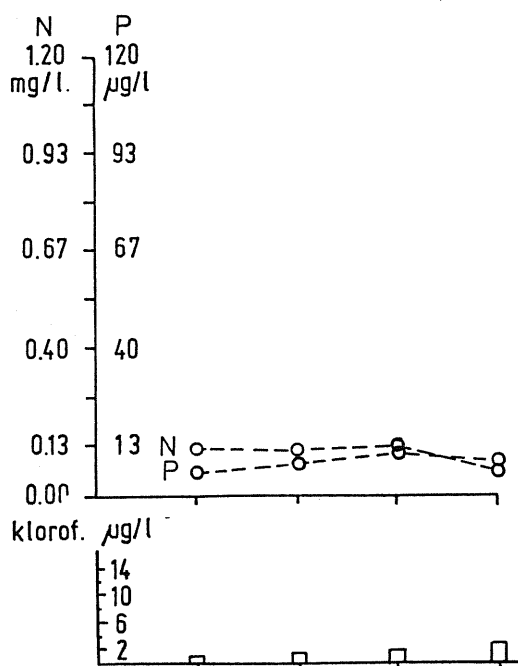
Kuva 99. Piihappopitoisuus mg/l.



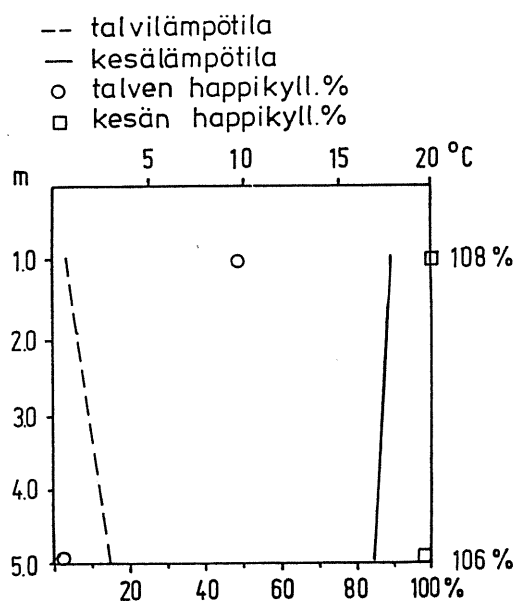
Kuva 100. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva101. pH



Kuva102. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva103. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

		V214AV	V214BV
	Sameus FTU	3.4C	6.8C
	Sähkönjoht. mS/m 25C	4.1C	4.1C
	Alkaliniteetti mval/l	0.11	0.09
	Väriluku Pt mg/l	15.0C	15.0C
	KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	4.3C	4.0C
	Kokonaistyyppi N mg/l	0.08	0.06
	Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	<0.01	0.0C
	Kokonaisfosfori P ug/l	17.0C	25.0C
	Kloridi Cl mg/l	1.7C	1.6C
	Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	10.0C	12.0C
	Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	4.8C	
	Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	11.3C	11.8C
	Orgaaninen hiili C mg/l	1.0C	1.1C
	Kalsium Ca mg/l	3.2C	3.2C
	Magnesium Mg mg/l	0.63	0.61
	Natrium Na mg/l	2.8C	2.7C
	Kalium K mg/l	0.9C	0.9C
	Rauta Fe mg/l	<0.05	<0.05
	Mangaani Mn mg/l	0.04	0.04
	Kupari Cu ug/l	1.3C	1.4C
	Lyijy Pb ug/l	<0.5C	<0.5C
	Kadmium Cd ug/l	0.1C	0.1C
	Kromi Cr ug/l	<0.5C	<0.5C
	Koboltti Co ug/l	1.6C	2.0C
	Alumiini Al ug/l Suod.	9.2C	11.0C
Kokkokangas, pohj. lammikko			
Soranottotilanne			
2.3. (laajamittai-			
nen soranotto			
käynnissä pohja-			
vedenpinnan ylä-			
puolella).			
V214AV = lammikon			
pintanäyte, 1m			
V214BV = lammikon			
pohjanäyte, 7 m			

Liiteosan sivut  
94 - 101.

Taulukko 18. Vuoden 1985 lammikkonäyt-  
teiden mediaaniarvot

Tutkimusalue on hiekkavaltainen delta. Lammikko on v. 1985 aikana ollut 8 metrin syvyinen ja 1,1 ha kokoinen. Lammikon pohjasta nostetaan jatkuvasti soraa laahakauhalla, minkä vuoksi lammikkoon ei päässyt muodostumaan pysyvää jääpeitettä.

Lammikon valuma-alueelta otetaan jatkuvasti soraa myös pohjavedenpinnan yläpuolelta. Alueella ei ole muuta toimintaa kuin soranotto.

Talvimittausta ei ole voitu jääpeitteen puuttuessa tehdä.

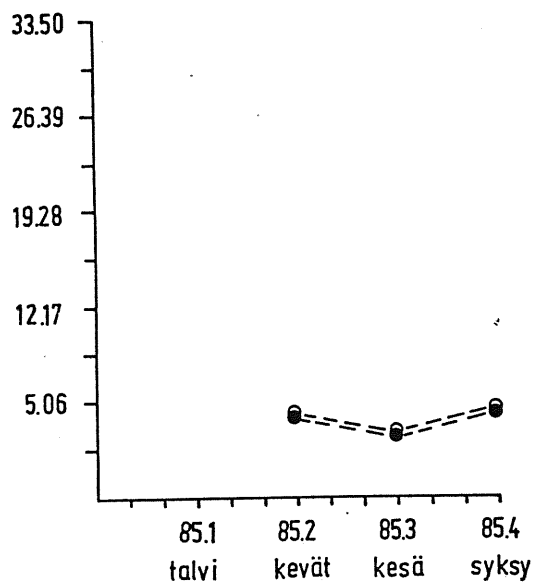
Lammikon vesi on läpivirtausvettä. Sähkönjohtavuusarvot ovat pieniä ja pienenevät puoleen kesällä. Piihappopitoisuudet ovat lammikkoveden arvoiksi suuria. Alkaliniteetti on pieni ja vesi on hapanta. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on pieni.

Lämpötilakerrostuneisuus on heikko. Happitilanne on kesällä hyvä.

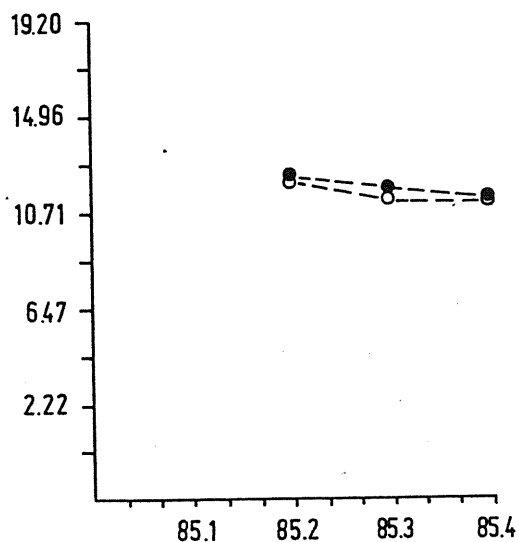
Lammikon typpipitoisuus on erittäin alhainen ja fosforitaso on kohtalainen. Tuotantotaso on kohtalainen. Typpi rajoittaa tuotantoa selvästi.

Indikaattoribakteereja on vähäisiä määriä.

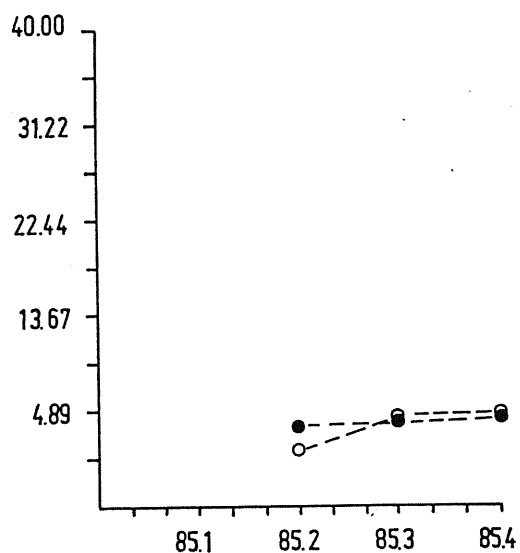
Lammikosta tapahtuva soranotto näyttää aiheuttavan ainakin kalsium-, magnesium-, sulfaatti- ja kloridipitoisuuden nousua sekä bikarbonaattipitoisuuden laskua. Fosforin nousu lienee syynä suhteellisen korkeaan tuotantoon.



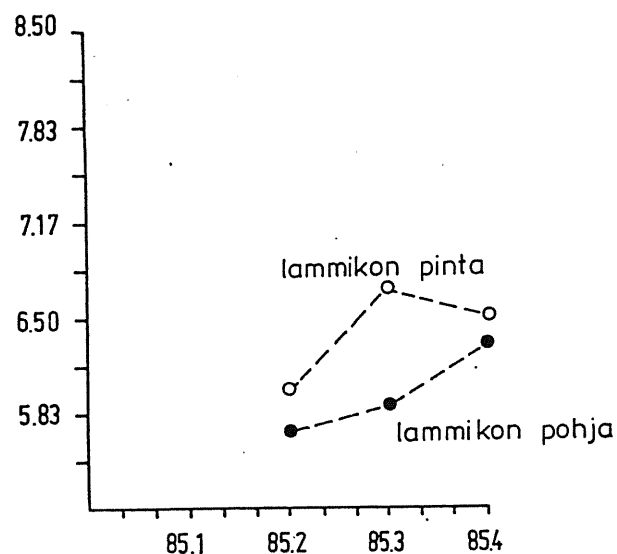
Kuva104. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



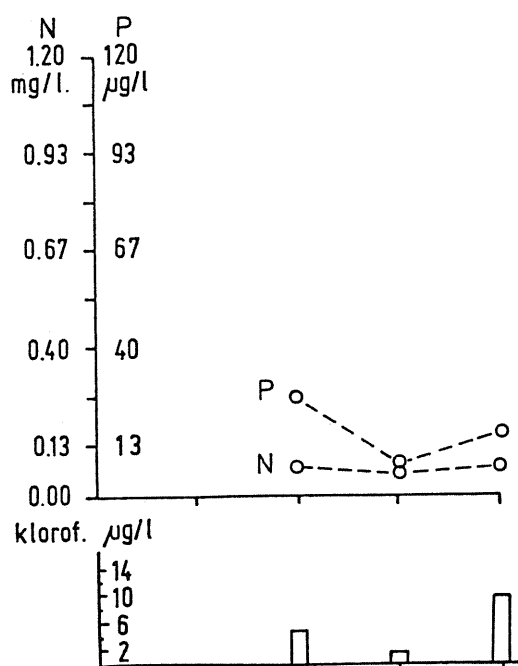
Kuva105. Piihappopitoisuus mg/l.



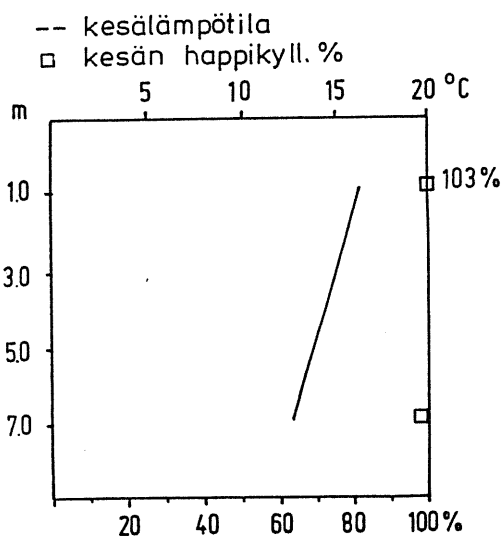
Kuva 106. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva107. pH



Kuva108. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva109. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

		V411AV	V412AV	V412BV
	Sameus FTU	1.87	0.62	0.85
	Sähkönjoht. mS/m 25C	5.80	4.15	4.15
	Alkaliniteetti mval/l	0.38	0.25	0.23
<u>Haaruskangas, et. lamm:</u>	Väriluku Pt mg/l	17.50	5.00	3.50
	KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	12.00	5.45	5.80
	Kokonaistyyppi N mg/l	0.10	0.16	0.14
Soranottotilanne	Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.10	0.13	0.06
3.4. (ollut aikai-	Kokonaisfosfori P ug/l	14.00	7.50	7.50
semmin laajalti	Kloridi Cl mg/l	1.55	1.90	1.90
pohjavedenpinnan	Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	5.55	5.60	5.65
alapuolista soran-	Klorofylli mg/m <sup>3</sup>		3.75	
ottoa).	Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	13.60	2.55	2.60
	Orgaaninen hiili C mg/l	6.00	1.75	1.90
	Kalsium Ca mg/l	5.00	2.85	2.95
	Magnesium Mg mg/l	1.10	0.65	0.65
	Natrium Na mg/l	3.35	4.35	5.00
V411AV = ottamo (uusi)	Kalium K mg/l	1.85	0.80	0.80
V412AV = lammikon pin-	Rauta Fe mg/l	0.41	<0.05	<0.05
tanäyte, 1 m	Mangaani Mn mg/l	0.04	<0.02	<0.02
V412BV = lammikon	Kupari Cu ug/l	3.90	1.50	1.50
pohjanäyte, 6 m	Lyijy Pb ug/l	<0.50	<0.50	<0.50
	Kadmium Cd ug/l	0.10	<0.10	<0.10
	Kromi Cr ug/l	0.70	<0.50	<0.50
	Koboltti Co ug/l	3.20	<0.50	<0.50
	Alumiini Al ug/l Suod.	24.00	10.45	6.90

Liiteosan sivut  
118 - 125.

Taulukko 19. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikkonäytteiden  
mediaaniarvot

Tutkimusalue on pitkä, kapea, hiekkavaltainen harju. Alueen eteläosassa on kaksi tutkimuspistettä: ottamo ja siitä n. 500 metrin päässä, ylävirran puolella 7 m syvä lammikko, joka on 1 ha kokoinen.

Alueelta on otettu runsaasti soraa ja pohjavesilammikoita on useita. Tällä hetkellä soranotto on lopetettu. Lammikon ja ottamon välissä harjun poikki kulkee maantie.

Lammikon vesi ei ole läpivirtausvettä. Sähkönjohtavuusarvot ja piihappopitoisuudet ovat pieniä ja vähenevät kesällä puoleen. Alkaliniteetti on melko pieni ja vesi on lievästi hapanta. Kesäinen pH:n nousu tapahtuu lammikon pohjaosiin asti. Ottamon veden KMnO<sub>4</sub>-kulutus on korkea, mutta lammikossa arvot ovat normaalit.

Vesi ei ole lämpötilakerrostunut. Lammikossa on lievää hapenvajausta talvella.

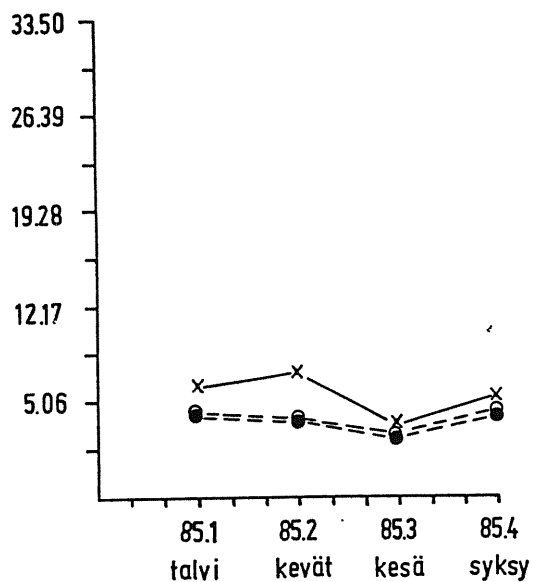
Vedessä on tyypeä vähän poikkeuksena kevään korkea arvo ja fosforia hyvin vähän. Tuotanto on silti kohtalainen. Tuotantoa rajoittaa fosforin vähyys.

Lammikossa on ajoittain koliformisia bakteereja.

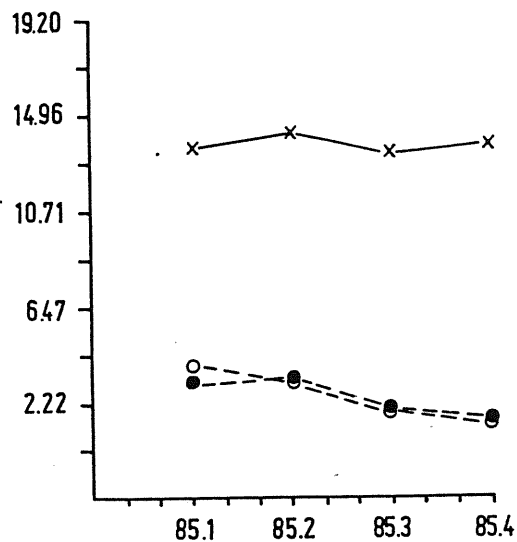
Vedenottamon vedenlaatu on tyydyttävä. Ympäristön pintavedet vaikuttavat laatua heikentävästi. Orgaanisen aineksen määrä vedessä vaihtelee runsaasti vuodenaikojen mukaan.

Lammikko on kirkas ja veden laatu on hyvä.

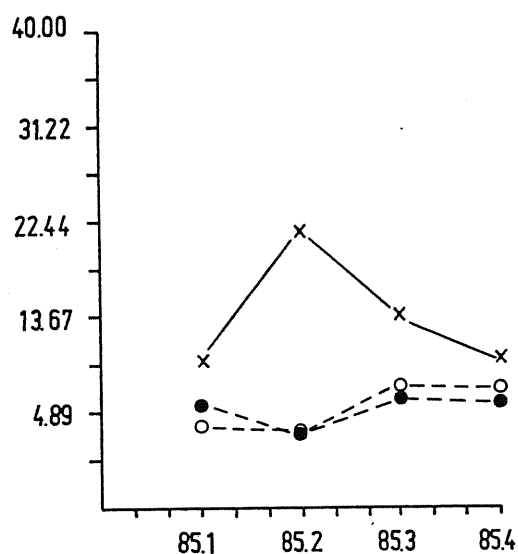




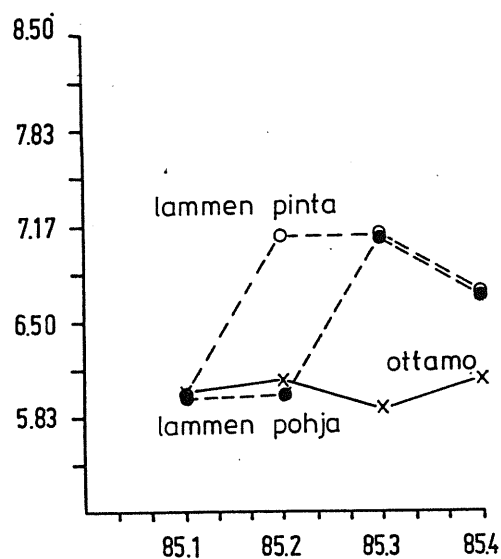
Kuva110. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



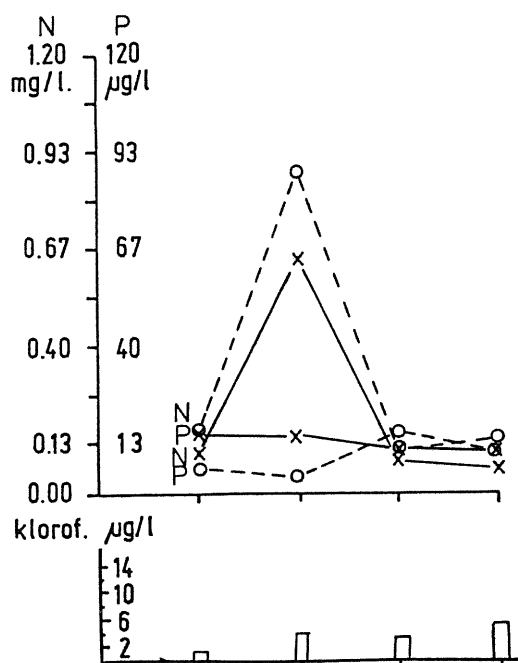
Kuva111. Piihappopitoisuus mg/l.



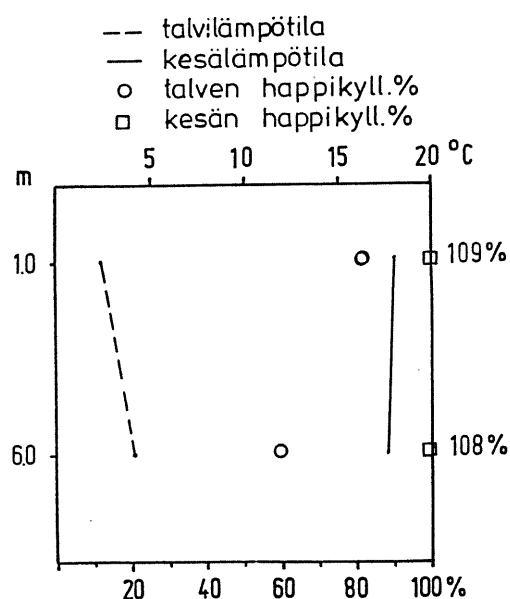
Kuva112. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva113. pH



Kuva116. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva115. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Haaruskangas, pohj. lammikko		V414AV	V413AV	V413BV
Soranottotilanne	Sameus FTU	C.29	C.96	1.C9
3.4. (ollut aikai- semmin laajalti pohjavedenpinnan alapuolista soran- ottoa).	Sähkönjoht. mS/m 25C	4.65	2.8C	2.25
	Alkaliniteetti mval/l	C.25	C.16	C.16
	Väriluku Pt mg/l	5.CC	5.CC	1C.CC
	KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	2.85	7.5C	9.15
	Kokonaistyyppi N mg/l	C.13	C.2C	C.2C
	Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	C.3C	C.16	<C.01
	Kokonaisfosfori P ug/l	9.5C	9.CC	9.CC
	Kloridi Cl mg/l	1.8C	1.7C	1.7C
	Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	5.85	3.5C	3.35
	Klorofylli mg/m <sup>3</sup>		4.8C	
	Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	7.2C	5.1C	5.7C
	Orgaaninen hiili C mg/l	1.2C	2.5C	2.55
	Kalsium Ca mg/l	3.2C	1.7C	1.65
	Magnesium Mg mg/l	C.6C	C.33	C.34
V414AV = ottamo (vanha)	Natrium Na mg/l	4.CC	2.8C	3.CC
V413AV = lammikon pintanäyte, 1m	Kalium K mg/l	C.8C	C.6C	1.2C
V413BV = lammikon pohjanäyte, 4,5 m	Rauta Fe mg/l	C.14	<C.05	<C.05
	Mangaani Mn mg/l	<C.02	C.04	<C.02
	Kupari Cu ug/l	1.9C	2.5C	3.25
	Lyijy Pb ug/l	<C.5C	<C.5C	<C.5C
	Kadmium Cd ug/l	<C.1C	<C.1C	C.15
	Kromi Cr ug/l	<C.5C	<C.5C	<C.5C
	Koboltti Co ug/l	<C.5C	<C.5C	<C.5C
	Alumiini Al ug/l Suod.	1C.5C	5.CC	2C.15

Liiteosan sivut  
118 - 125.

Taulukko 20. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikonäytteiden  
mediaaniarvot

Tutkimusalue on pitkä, kapea, hiekkavaltainen harju. Alueen pohjoisosassa on kaksi näytteenottopistettä. Vedenottamo ja sen ylävirran puolella 800 metrin päässä oleva 5,7 metrin syvyinen lammikko. Lammikko on 0,3 ha kokoinen. Ottamon ja näytteenottolammikon välissä on muita lammikoita.

Alueelta on otettu runsaasti soraa ja pohjavedenpinta on paljastettu useiksi lammikoiksi. Alueen pohjavettä ei rasita muu toiminta.

Lammikon vesi on läpivirtausvettä. Sähkönjohtavuusarvot ovat pieniä ja pienenevät kesällä puoleen. Piihappopitoisuudet ovat hieman korkeampia kuin lammikkovesien mediaaniarvot. Alkaliniteettiä ovat pieniä ja vesi on lievästi hapanta. Ottamon KMnO<sub>4</sub>-kulutus on normaali ja lammikkoveden arvot ovat kesällä suuria.

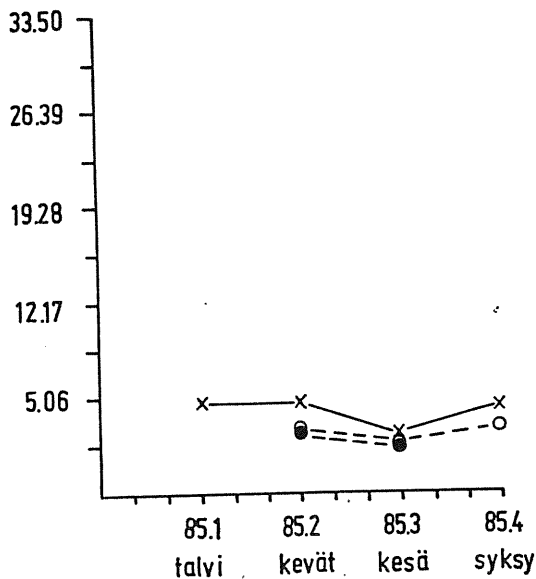
Lammikon vesi ei ole lämpötilakerrostunutta.

Lammikossa on tyypeä kohtalaisen vähän, poikkeuksena kevään korkea arvo. Fosforia on vähän. Tuotanto on kohtalainen.

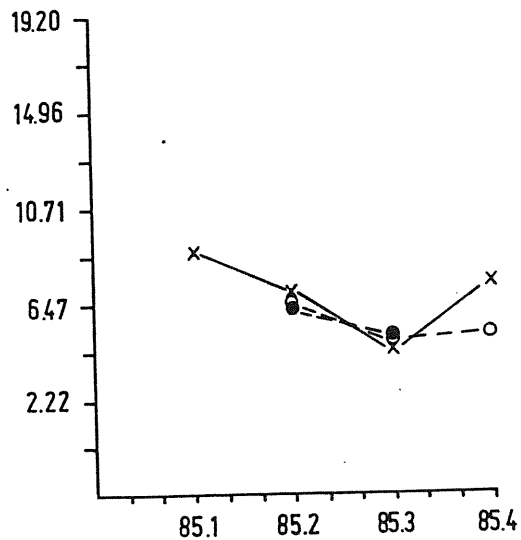
Lammikkovedessä on satunnaisesti koliformisia bakteereja.

Lammikko on kirkas ja vedenlaatu on hyvä.

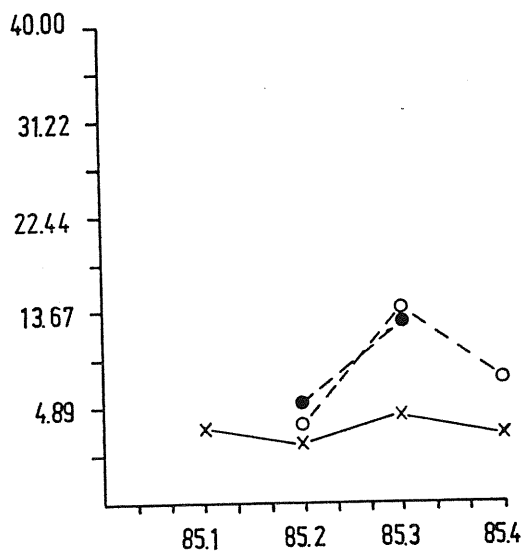
Vedenottamon vedessä näkyy selvästi lammikkoveden vaikutus, mm. kesäinen lämpötilan raju nousu, piihappopitoisuuden vähyys ja kesäinen väheneminen sekä sähkönjohtavuuden aleneminen kesällä puoleen.



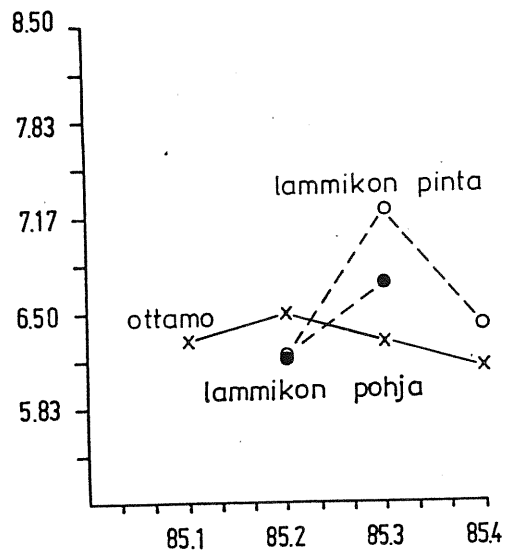
Kuva116. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



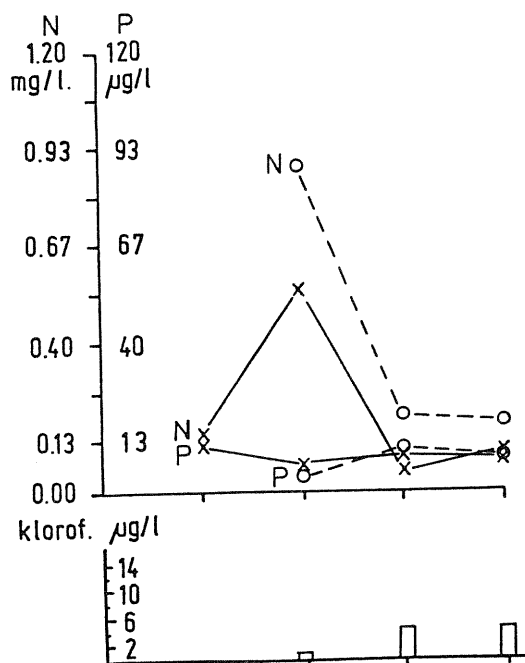
Kuva117. Piihappopitoisuus mg/l.



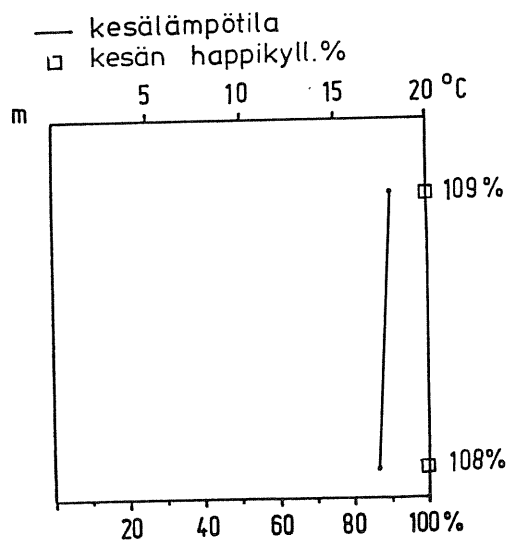
Kuva 118. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 119. pH



Kuva120. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva121. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

## 6.3.4 Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirin alue

## 6.3.4.1 Yleistä

Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirissä tutkitaan kolmea harjujaksoa, joilla oli vuoden 1985 aikana yhteensä 9 näytepistettä (taulukko 21). Kahdella alueella, Hietakankaalla ja Pitkäkankaalla, on käynnissä pohjavedenpinnan yläpuolinen soranotto ja Hollannin alue on vanhaa soranottoaluetta, jossa pohjavedenpinnan alle ulottunut soranotto on päättynyt jo pari vuosikymmentä sitten.

Taulukko 21. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirin vesinäytteet

Hietakangas, Kannus	K111AV 3.3	Hietakankaan ottamo	1 m pinnasta
	K112AV 3.3	Lammikko	1 m pinnasta
	K112BV 3.3	Lammikko	1 m pohjasta
	K115AV 1.0	Vertailuputki	1 m pinnasta
Hollanti, Sievi	K211AV 3.4	Lammikko talojen luona	1 m pinnasta
	K212AV 3.4	Pitkä, kapea lammikko	1 m pinnasta
	K213AV 3.4	Kukkarokiven ottamo	1 m pinnasta
	K214AV 3.4	Ottamon lähin lammikko	1 m pinnasta
Pitkäkangas, Haapajärvi	K311AV 1.0	Kuivikon lähde	
	K321AV 2.2	Lähde monttujen keskellä	
	K331AV 1.0	Varisperän ottamo	1 m pinnasta

## 6.3.4.2 Pohjavesi, lähteet

Haapajärven Pitkäkankaan harjussa tutkitaan kahta aluetta, joissa molemmissa on pohjaveden näytepisteenä lähde. Toinen alueista on luonnontilainen ja toisella alueella on laaja pohjavedenpinnan yläpuolinen soranotto käynnissä. Tutkimus-alue on verrattavissa Tuusulan harjujakson alueeseen, jossa on vastaavat soranottotilanteet (taulukko 5). Pitkäkankaan harjun pohjavesi on kokonaisuudessaan huomattavasti vähä-elektrolyyttisempi kuin Tuusulan alueen pohjavesi.

Soranottoalueella sähkönjohtavuusarvot ovat korkeammat kuin luonnontilaisella alueella (taulukko 22 ja kuva 122). Sähkönjohtavuusarvoa nostavat kohonneet kloridi-, nitraatti-, sulfaatti-, kalsium-, magnesium-, natrium- ja kaliumpitoisuudet (kuvat 123 - 128).

Metallipitoisuuksissa alueiden välinen ero näkyy alumiinipitoisuuksien nousuna soranottoalueella. Vedessä on nähtävissä kalsium- ja magnesiumionin korvautumista alumiini- ja vetyionilla. Molempien alueiden pohjaveden pH-arvot ovat lähdevesiksi poikkeuksellisen korkeita ja vuodenaikaisvaihtelu on suuri.

Taulukko 22. Haapajärven Pitkäkankaan luonnontilaisen valuma-alueen lähteen ja soranottoalueen lähteen vedenlaatuvertailu.

	Kuivikonlähde (luonnontilainen)		Soranottoalueen lähde	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
lab. sähkönjohtavuus, mS/m	3,70	3,00	4,77	3,90
lab. pH	6,87	6,90	6,80	6,80
O <sub>2</sub> , %	89,71	88,65	101,76	101,41
CO <sub>2</sub> , mg/l	4,13	4,60	4,33	4,40
lämpötila, °C	4,20	4,20	5,37	6,10
KMnO <sub>4</sub> -kulutus, mg/l	3,20	4,00	3,47	4,00
NO <sub>3</sub> , mg/l	0,31	0,32	1,27	1,15
Cl, "	1,10	1,10	4,50	4,80
SiO <sub>2</sub> , "	12,43	12,50	12,67	12,70
SO <sub>4</sub> , "	3,80	3,70	5,97	5,90
HCO <sub>3</sub> , "	26,03	25,01	21,96	22,57
Kokonaiskovuus, mg/l	1,06	1,06	1,18	1,17
Ca, mg/l	5,47	5,40	5,93	5,90
Mg, "	1,30	1,30	1,53	1,50
Na, "	1,90	1,90	3,33	3,20
K, "	1,07	1,10	1,17	1,20
Fe, "	0,05	<0,05	0,05	<0,05
Mn, "	0,02	<0,02	0,02	<0,02
Zn, ug/l	20,0	<20,0	20,0	<20,0
Cu, "	0,50	<0,50	0,50	<0,50
Ni, "	0,50	<0,50	0,50	<0,50
Pb, "	0,53	<0,50	0,50	<0,50
Cd, "	0,10	<0,10	0,10	<0,10
Al, "	-	3,7	-	12,0
näytteiden lkm	3	3	3	3

Haapajärven Pitkäkankaan läh-  
teistä otettujen pohjavesinäyt-  
teiden

sähkönjohtavuus (kuva 122)

kloridi- (kuva 123)

sulfaatti- (kuva 124)

kalsium- (kuva 125)

magnesium- (kuva 126)

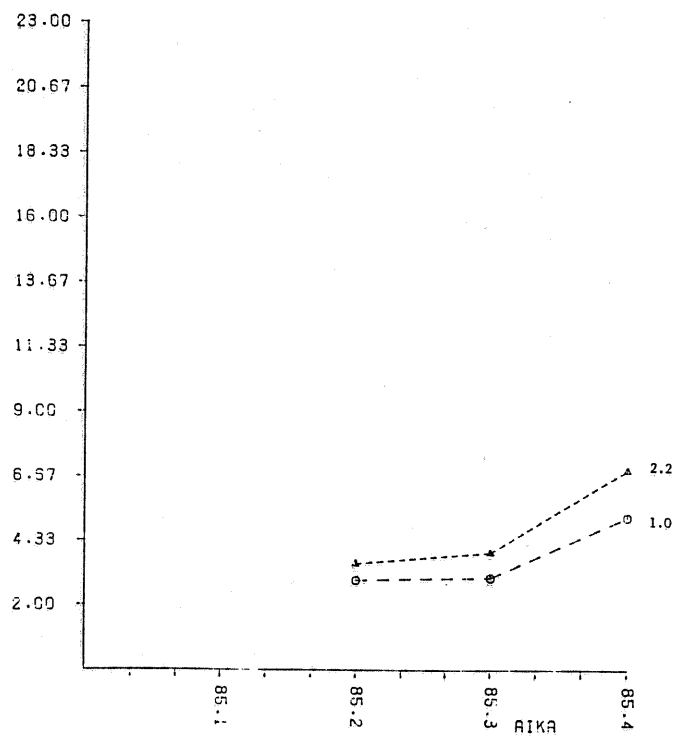
kalium- (kuva 127)

natriumpitoisuudet (kuva 128)

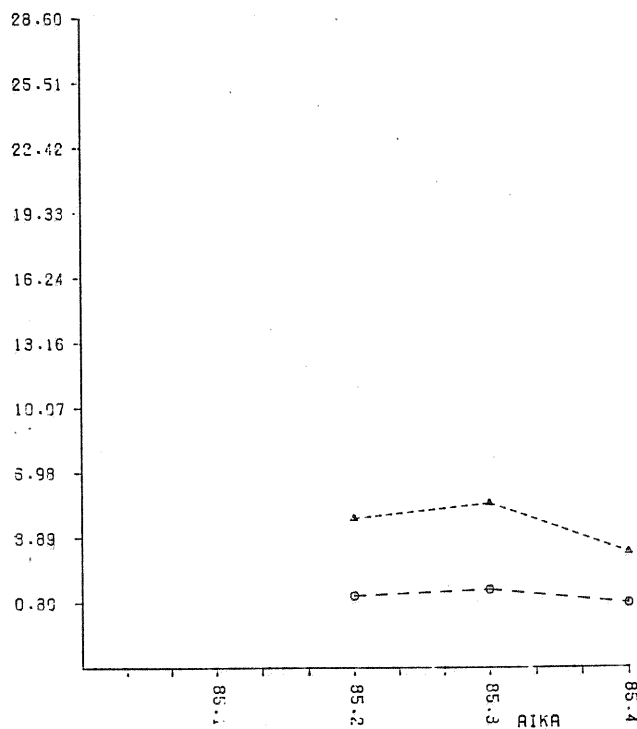
soranottotilanteen mukaan luoki-  
teltuna. Soranottotilanne:

1.0 luonnontilainen harju

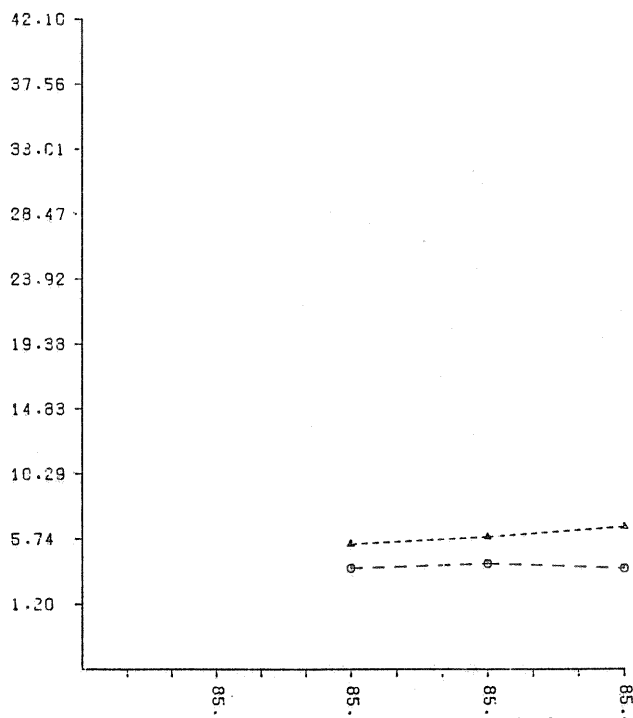
2.2 laajamittainen soranotto  
on käynnissä pohjaveden  
pinnan yläpuolella



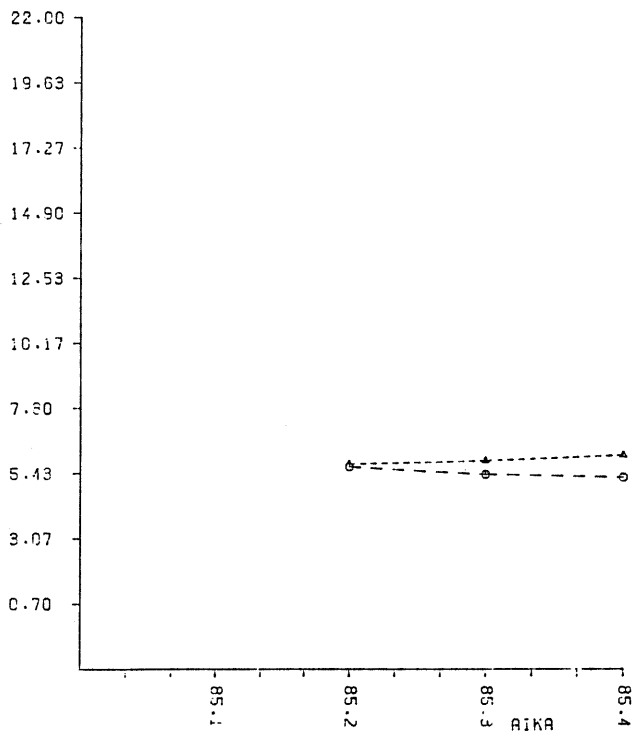
Kuva 122. Sähkönjohtavuus, mS/m, 25 °C.



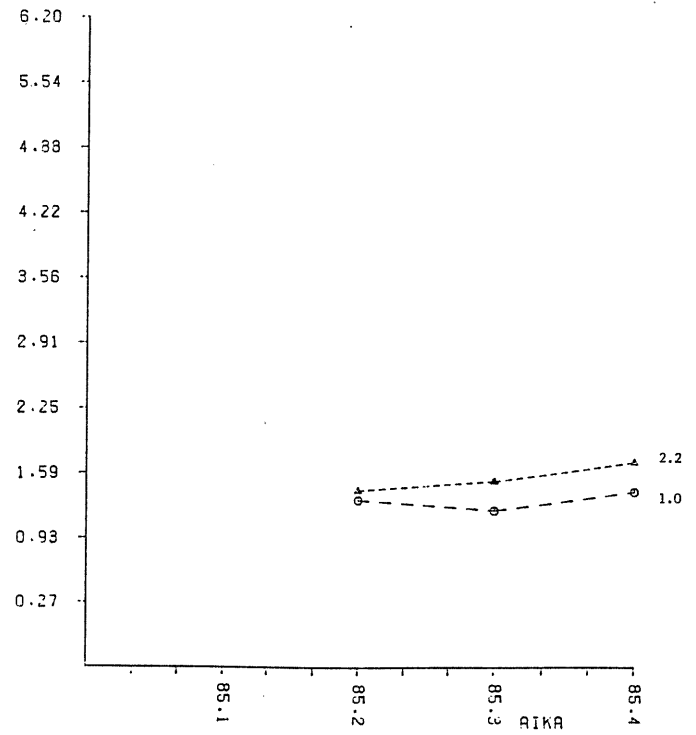
Kuva 123. Kloridi, mg/l.



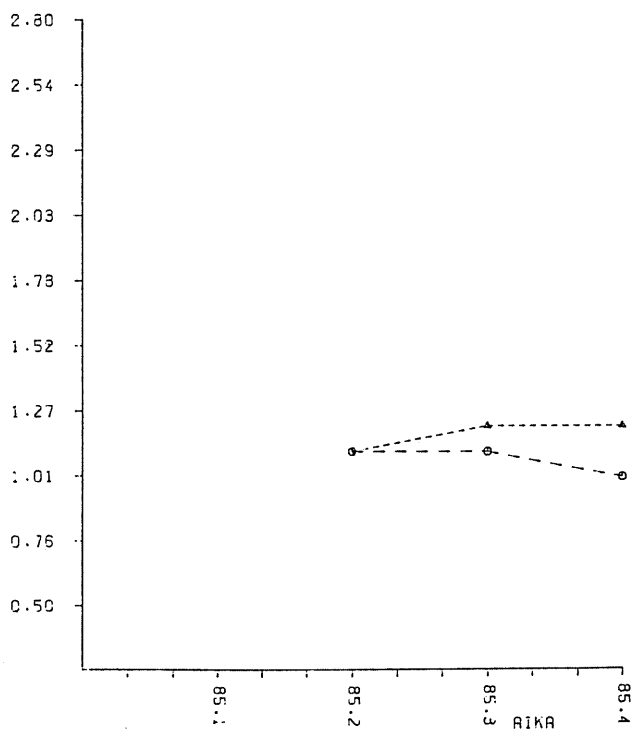
Kuva 124. Sulfaatti, mg/l.



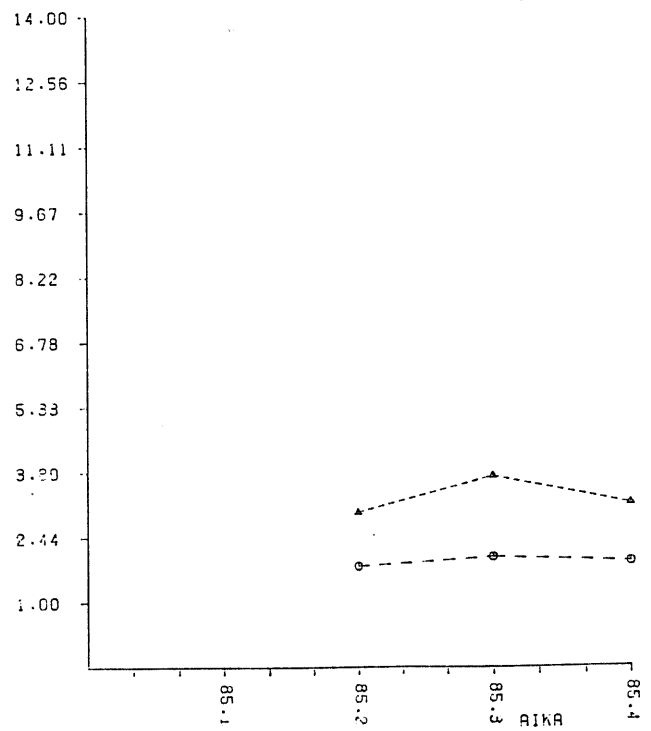
Kuva 125. Kalsium, mg/l.



Kuva 126. Magnesium, mg/l.



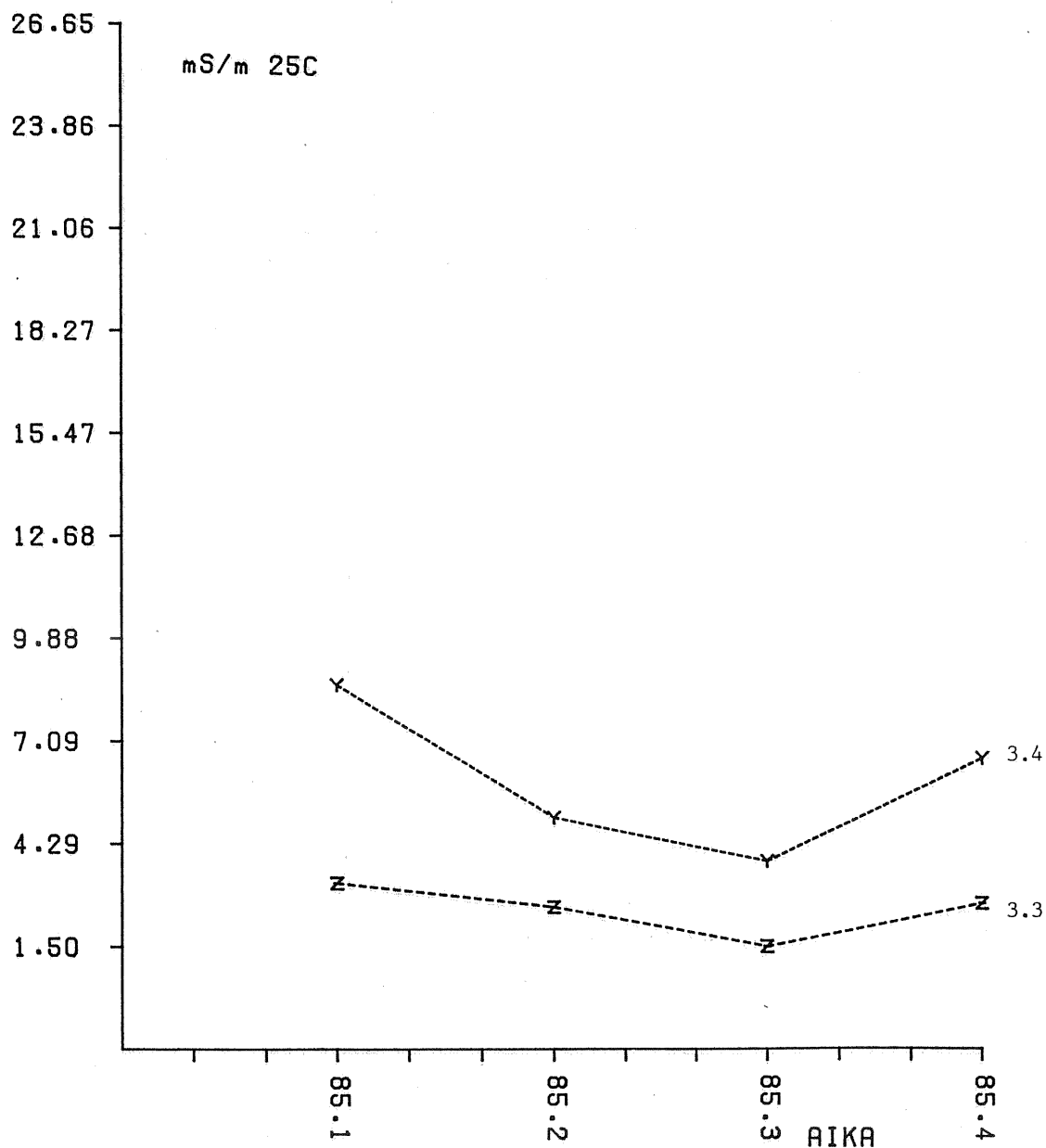
Kuva 127. Kalium, mg/l.



Kuva 128. Natrium, mg/l.

## 6.3.4.3 Lammikkovesi

Kokkolan alueella on tutkimuskohteina kaksi harjualuetta, joilla on soranoton aiheuttamia lammikoita. Hietakankaan alueella on pääasiassa ollut laajaa pohjavedenpinnan yläpuolista soranottoa, mutta pienellä alueella on soraa nostettu myös pinnan alapuolelta. Sievin Hollannin alueella on vanhoja lammikoita, alueen soranotto on päättynyt jo parikymmentä vuotta sitten. Kuvassa 129 on lammikoiden veden keskimääräiset sähkönjohtavuusarvot.



Kuva 129. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirin lammikkovesinäytteiden sähkönjohtavuuden (mS/m, 25 °C) mediaaniarvot soranottotilanteen mukaan jaoteltuna. (3.3 = laaja pohjavedenpinnan yläpuolinen otto päättynyt; 3.4 = laaja pohjavedenpinnan alapuolinen otto päättynyt.)





		K111AV	K112AV	K112BV
<u>Hietakangas</u>	Sameus FTU			
	Sähkönjoht. mS/m 25C	3.8C	2.55	2.65
	Alkaliniteetti mval/l	C.23	C.14	C.14
	Väriluku Pt mg/l			
Soranottotilanne 3.3.	KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	4.0C	4.95	5.7C
(ollut aikaisemmin	Kokonaistyyppi N mg/l	C.16	C.14	C.14
laajalti pohjaveden-	Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	C.62	C.23	C.23
pinnan yläpuolista	Kokonaisfosfori P ug/l	1C.0C	2C.0C	2C.0C
soranottoa).	Kloridi Cl mg/l	1.7C	1.6C	1.7C
	Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	3.55	3.4C	3.4C
	Klorofylli mg/m <sup>3</sup>		2.7C	
	Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	11.3C	4.85	4.7C
	Orgaaninen hiili C mg/l	C.6C	1.6C	1.8C
K111AV = vedenottamo	Kalsium Ca mg/l	2.85	1.95	2.0C
K112AV = lammikon	Magnesium Mg mg/l	C.92	C.54	C.52
pintanäyte, 1 m	Natrium Na mg/l	2.4C	1.65	1.75
K112BV = lammikon	Kalium K mg/l	1.0C	C.7C	C.75
pohjanäyte, 5,5 m	Rauta Fe mg/l	C.06	<C.05	<C.05
	Mangaani Mn mg/l	<C.02	<C.02	C.04
	Kupari Cu ug/l	<C.5C	1.15	1.4C
	Lyijy Pb ug/l	<C.5C	<C.5C	<C.5C
	Kadmium Cd ug/l	<C.1C	<C.1C	<C.1C
	Kromi Cr ug/l	<C.5C	<C.5C	<C.5C
	Koboltti Co ug/l	<C.5C	<C.5C	<C.5C
	Alumiini Al ug/l Suod.	9.9C	22.0C	16.5C

Liiteosan sivut  
126 - 130.

Taulukko 23. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikonäytteiden  
mediaaniarvot

Hietakankaan tutkimusalueella on kaksi näytepaikkaa: vedenottamo ja sen ylävirranpuolella 1,7 km päässä oleva 7 metrin syvyinen lammikko. Lammikko on 1 ha kokoinen. Lammikko on harjun ydinosassa, mutta aines on suurelta osin virtausta heikentävää hienoa hiekkaa.

Tutkimusalue on vanha soranottoalue, josta tällä hetkellä otetaan soraa melko pieneltä alueelta. Alueella ei ole muuta pohjaveteen vaikuttavaa toimintaa. Alueelle on asennettu v. 1986 alussa myös vertailuputki.

Lammikon vesi ei ole läpivirtaavaa. Sähkönjohtavuus on pieni ja piihappopitoisuus kohtalainen. Alkaliniteetti on pieni ja vesi on lievästi hapanta erityisesti keväällä. KMnO<sub>4</sub>-kulu-  
tus on melko pieni, mutta vuodenaikaisvaihtelua on.

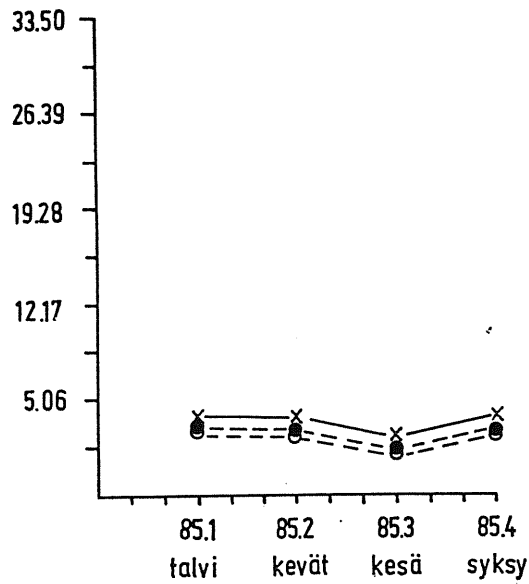
Lammikon vesi ei ole lämpötilakerrostunut ja happitilanne on melko hyvä.

Typeä on vähän ja fosforia kohtalaisesti. Tuotanto on kohtalainen.

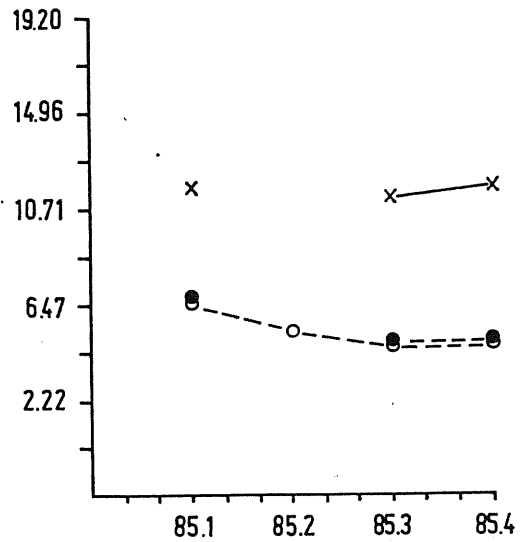
Lammikon vedessä on ajoittain pieniä määriä koliformisia bakteereita.

Vedenottamon vesi on hyvä- ja tasalaatuista ympäri vuoden. Suolapitoisuudet ovat hyvin pieniä.

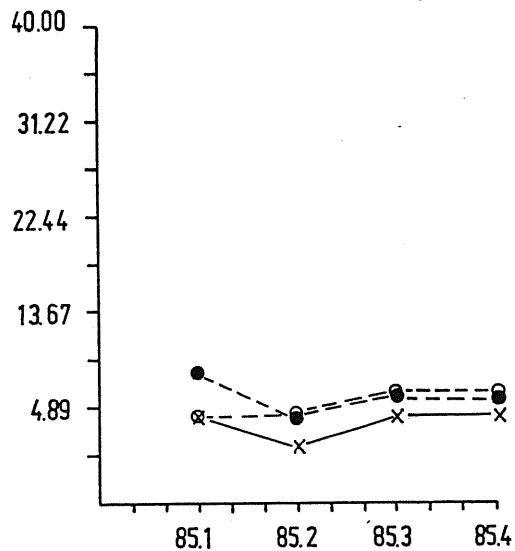
Lammikko ei vaikuta vedenottamon vedenlaatuun.



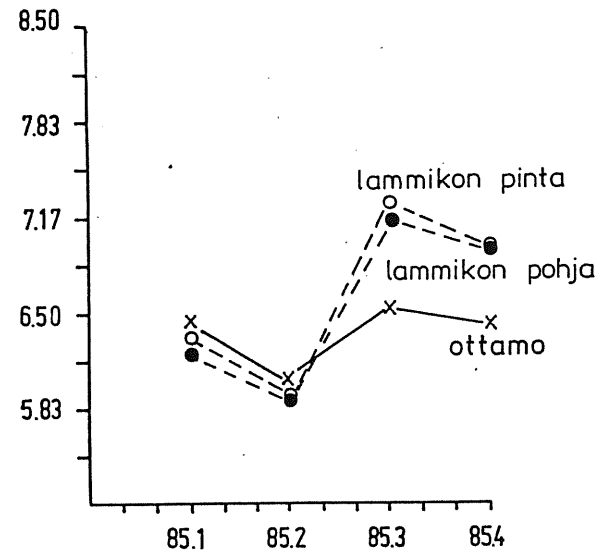
Kuva 130. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



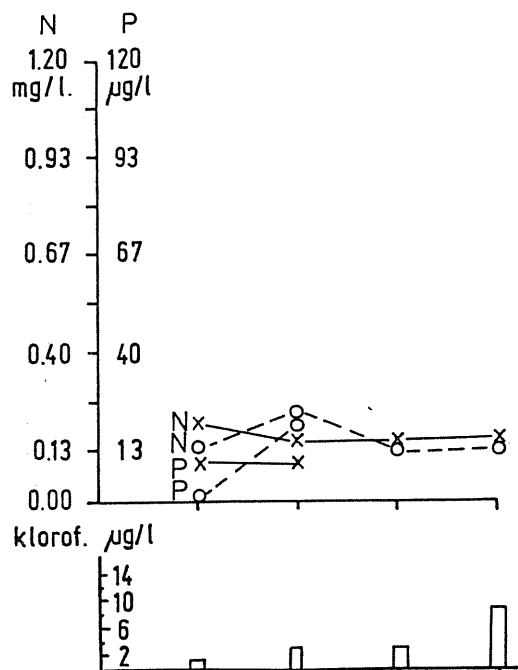
Kuva 131. Piihappopitoisuus mg/l.



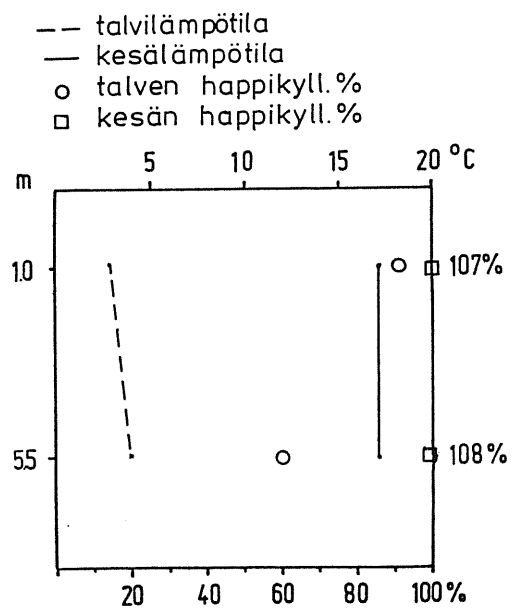
Kuva 132. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 133. pH



Kuva 134. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 135. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Sievi, pieni lammikko

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alapuolista  
soranottoa).

K211AV = lammikon  
pintanäyte, 0,5 m

	K211AV
Sameus FTU	
Sähkönjoht. mS/m 25C	5.2C
Alkaliniteetti mval/l	0.32
Väriluku Pt mg/l	
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	23.7C
Kokonaistyyppi N mg/l	C.48
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	<0.01
Kokonaistfosfori P ug/l	20.00
Kloridi Cl mg/l	4.85
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	3.05
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	13.00
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	C.45
Orgaaninen hiili C mg/l	5.85
Kalsium Ca mg/l	3.25
Magnesium Mg mg/l	2.30
Natrium Na mg/l	3.15
Kalium K mg/l	2.45
Rauta Fe mg/l	<0.05
Mangaani Mn mg/l	C.14
Kupari Cu ug/l	2.50
Lyijy Pb ug/l	C.80
Kadmium Cd ug/l	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50
Koboltti Co ug/l	<0.50
Alumiini Al ug/l Suod.	17.00

Liiteosan sivut  
131 - 136.

Taulukko 24. Vuoden 1985 lammikko-  
näytteiden mediaaniarvot

Tutkimusalue on kapea harju, jossa näytepaikkana on pieni, matala lammikko. Lammikko on 1 metrin syvyinen ja 0,4 ha kokoinen.

Alueelta on otettu runsaasti soraa, niin että harjussa on useita pieniä lammikoita. Soranotto on päättynyt yli 20 vuotta sitten. Lammikon vieressä on muutamia taloja ja maantie.

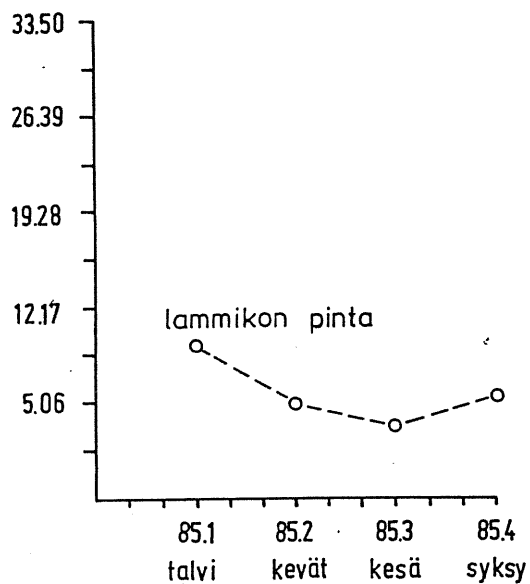
Lammikon vesi ei ole läpivirtaavaa. Sähkönjohtavuusarvo on kohtalainen, kesällä arvo on pieni. Piihappopitoisuus on avovesikaudella erittäin pieni, alkaliniteetti on kohtalainen ja vesi on lievästi hapanta. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on avovesikautena erittäin suuri.

Lammikko on talvella lähes hapeton.

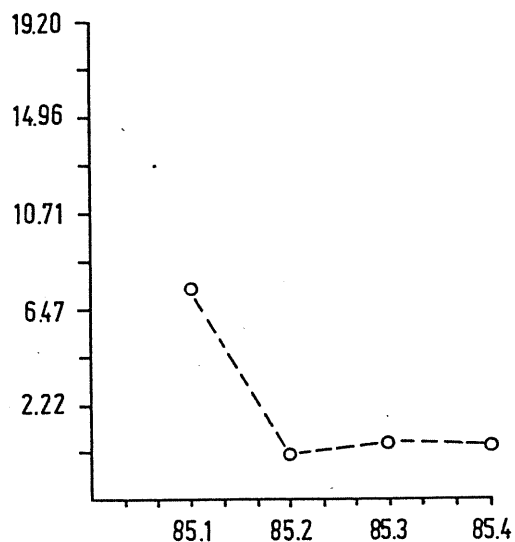
Typpeä on melko runsaasti, mutta pitoisuus vaihtelee melkoisesti. Fosforia on kohtalaisesti. Tuotantotaso on korkea. Tuotantoa rajoittaa fosfori.

Lammikossa on runsaasti koliformisia bakteereja.

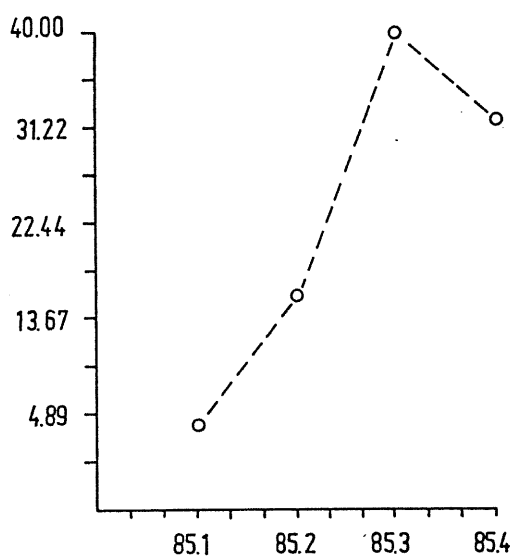
Lammikko on pintavesityyppinen matala ja rehevä. Vedenlaadun vaihtelut ovat suuria.



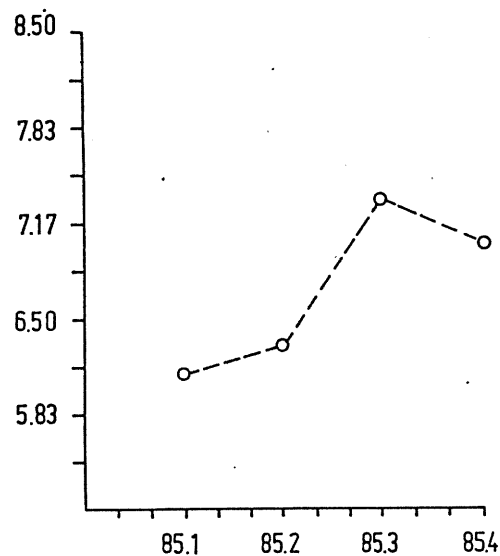
Kuva 136. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



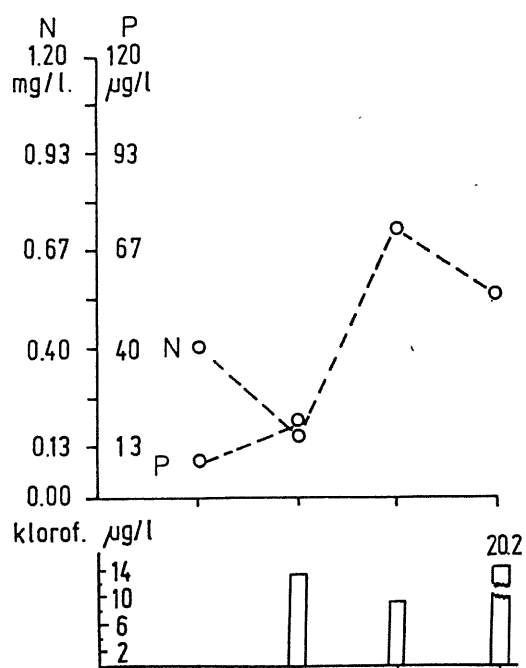
Kuva 137. Piihappopitoisuus mg/l.



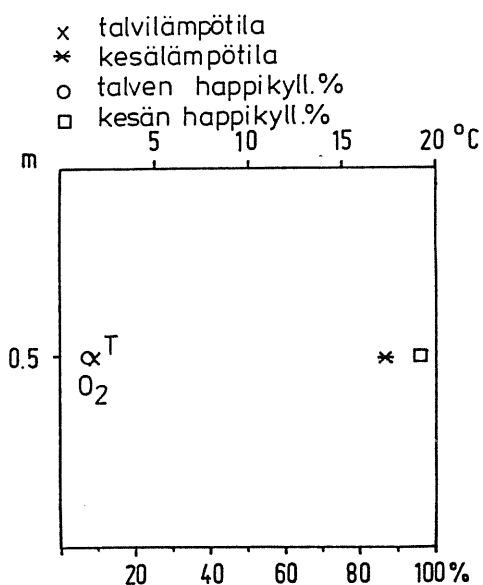
Kuva 138. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 139. pH



Kuva 140. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 141. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Sievi, pitkä lammikko

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alaista  
soranottoa).

K212AV = lammikkonäyte,  
0,5 m

	K212AV
Sameus FTU	
Sähkönjoht. mS/m 25C	6.6C
Alkaliniteetti mval/l	0.47
Väriluku Pt mg/l	
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	11.9C
Kokonaistyyppi N mg/l	0.25
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	<0.01
Kokonaisfosfori P ug/l	20.5C
Kloridi Cl mg/l	4.2C
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	2.4C
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	6.4C
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	1.9C
Orgaaninen hiili C mg/l	3.4C
Kalsium Ca mg/l	4.2C
Magnesium Mg mg/l	3.3C
Natrium Na mg/l	2.8C
Kalium K mg/l	2.2C
Rauta Fe mg/l	<0.05
Mangaani Mn mg/l	<0.02
Kupari Cu ug/l	1.5C
Lyijy Pb ug/l	0.8C
Kadmium Cd ug/l	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.5C
Koboltti Co ug/l	<0.5C
Alumiini Al ug/l Suod.	20.0C

Liiteosan sivut  
131 - 136.

Taulukko 25. Vuoden 1985 lammikko-  
näytteiden mediaaniarvot

Tutkimusalueen näytteenottopaikkana on 1 metrin syvyinen lammikko. Lammikko on 0,5 ha kokoinen. Lammikko sijaitsee pitkän kapean harjun leveämmässä, hiekkavaltaisessa osassa, aivan vedenjakajan alueella.

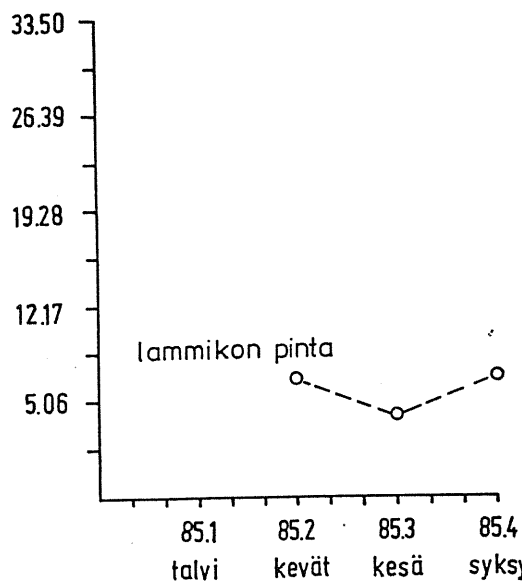
Alueelta on otettu runsaasti soraa ja pohjavesi on paljastettu useiksi lammikoiksi. Alueen soranotto on vanhaa ja osa lammikoista on muodostunut yli 30 vuotta sitten. Harjulla on myös melko vilkkaasti liikennöity tie.

Lammikko ei ole läpivirtauslammikko. Sähkönjohtavuusarvot ja piihappopitoisuudet ovat kohtalaisia sekä pienenevät kesällä. Veden pH-arvo on kesällä korkeahko ja alkaliniteettiarvo on kesällä pieni. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on suuri. Lammikko oli keväällä hapeton.

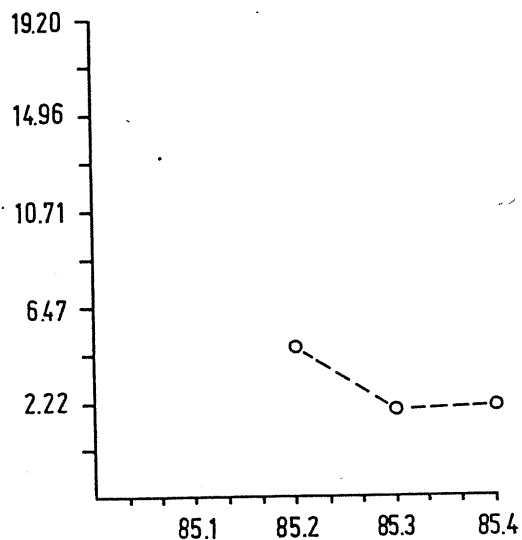
Lammikon vedessä on kohtalaisen vähän tyypeä ja kohtalaisesti fosforia. Tuotanto on melko suuri, etenkin syksyllä.

Vedessä on huomattavasti koliformisia bakteereja.

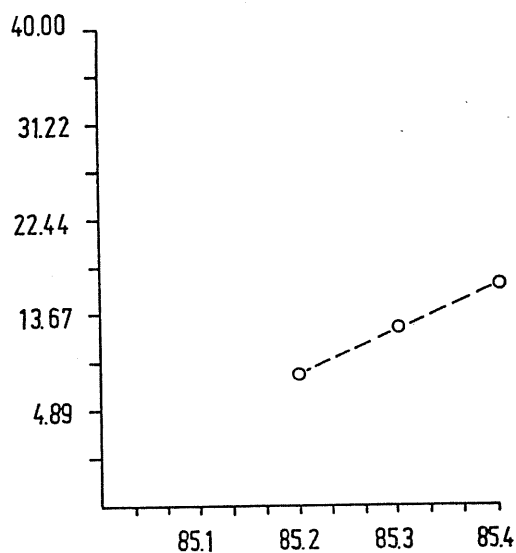
Lammikko on pintavesityyppinen matala ja rehevähäkö. Vedenlaadun muutokset ovat huomattavia.



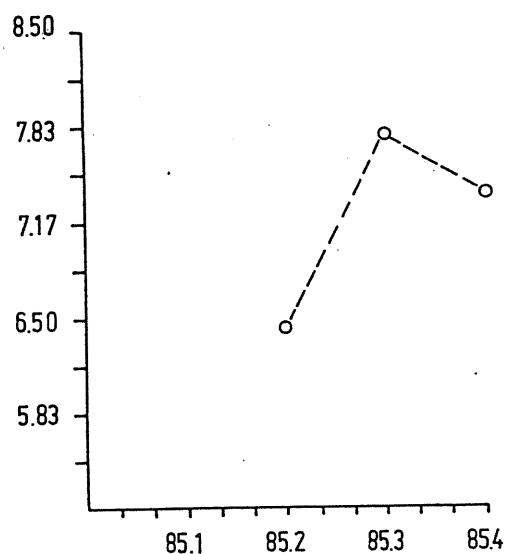
Kuva 142. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



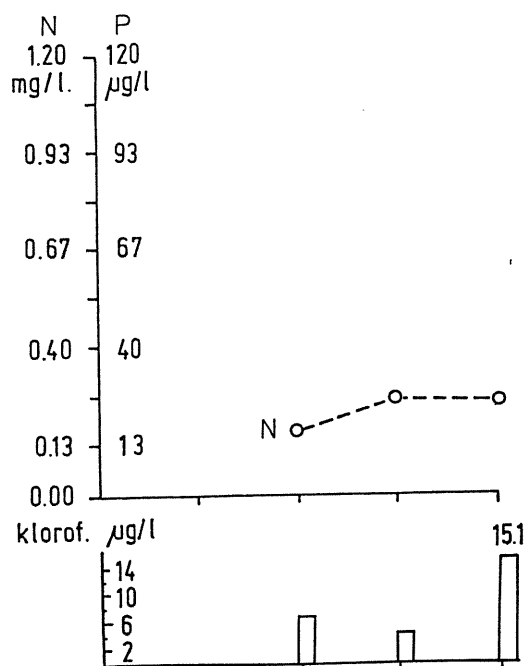
Kuva 143. Piihappopitoisuus mg/l.



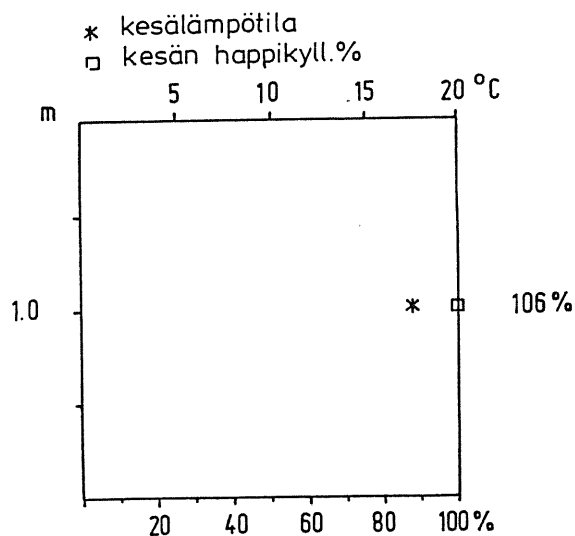
Kuva 144. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 145. pH



Kuva 146. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 147. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Kukkarokivi

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alaista soran-  
ottoa).

K213AV = ottamo

K214AV = lammikkonäyte,  
1 m

	K213AV	K214AV
Sameus FTU		
Sähkönjoht. mS/m 25C	7.00	5.85
Alkaliniteetti mval/l	0.54	0.48
Väriluku Pt mg/l		
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	3.40	5.95
Kokonaistyyppi N mg/l	0.20	0.13
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.71	<0.01
Kokonaisfosfori P ug/l	7.00	10.00
Kloridi Cl mg/l	4.70	4.40
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	5.90	5.20
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>		3.90
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	10.35	6.00
Orgaaninen hiili C mg/l		2.20
Kalsium Ca mg/l	5.35	4.95
Magnesium Mg mg/l	4.05	3.35
Natrium Na mg/l	4.00	3.45
Kalium K mg/l	2.35	1.80
Rauta Fe mg/l	<0.05	<0.05
Mangaani Mn mg/l	<0.02	<0.02
Kupari Cu ug/l	2.95	1.35
Lyijy Pb ug/l	0.95	0.65
Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	<0.50
Koboltti Co ug/l	<0.50	<0.50
Alumiini Al ug/l Suod.	13.95	7.50

Liiteosan sivut  
131 - 136.

Taulukko 26. Vuoden 1985 ottamo- ja  
lammikkonäytteiden  
mediaaniarvot

Tutkimusalueella on kaksi näytteenottopistettä: Kukkarokiven vedenottamo sekä sen ylävirranpuolella 2,5 m syvä lammikko, joka on kooltaan 0,5 ha. Lammikko on kaivettu vuoden 1980 aikana. Harjuaines on karkeaa soraa ja lammikko on harjun ydinosa.

Lammikon yläpuolella, harjun päällä on melko vilkkaasti liikennöity tie. Soraa on otettu hyvin pieneltä alueelta.

Lammikon vesi on läpivirtaavaa. Sähkönjohtavuusarvot ovat kohtalaiset ja piihappopitoisuudet ovat talvella ja syksyllä pohjaveden suuruusluokkaa. Alkaliniteetti on kohtalainen ja vesi on lähes neutraalia. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on normaali.

Lammikon vedessä on talvella hapenvajausta ja kesällä ylikyllästystä.

Lammikkovedessä on vähän ravinteita. Tuotanto on kohtalainen. Alhainen ravinnetaso rajoittaa tuotantoa.

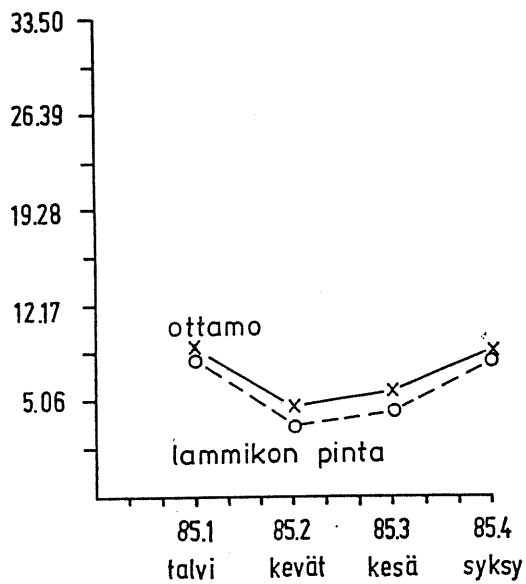
Lammikon ja ottamon vedessä on huomattavasti koliformisia bakteereja.

Vedenottamon vesi on hyvälaatuista lukuun ottamatta bakteerisaastutusta.

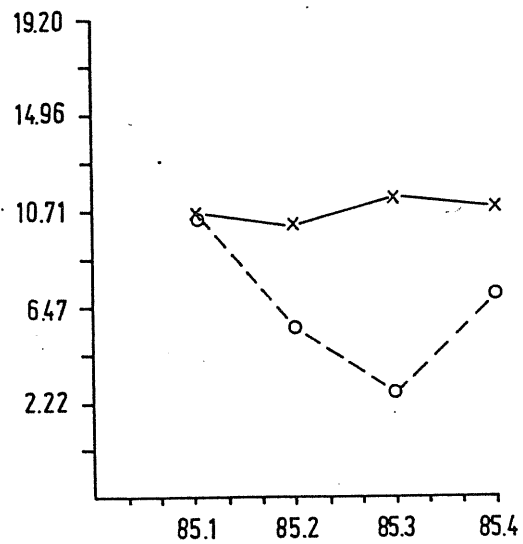
Lammikon vesi on melko tasa- ja hyvälaatuista, mutta lammikon happitilanne on heikohko.

Lammikkovesi vaikuttaa ottamon vedenlaatuun: mm. sähkönjohtavuus ja lämpötila.

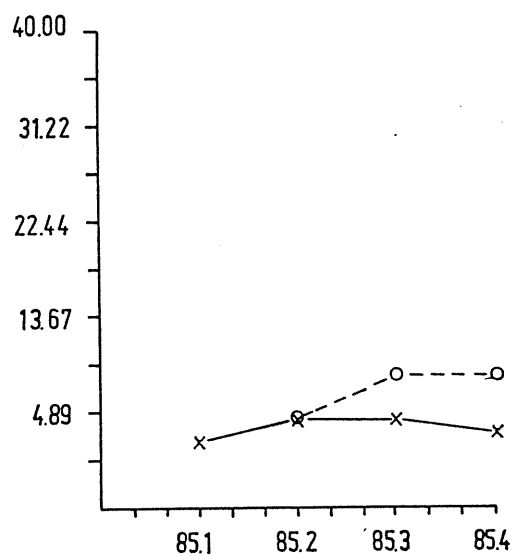




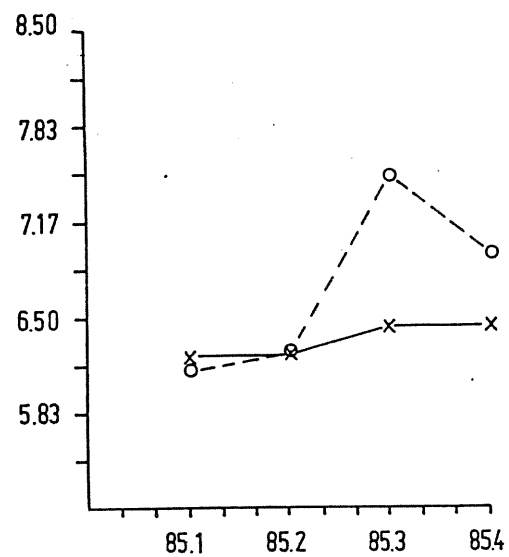
Kuva148. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



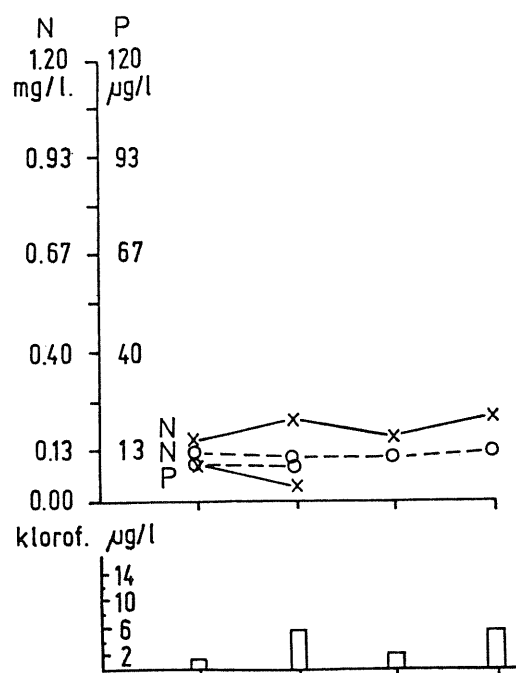
Kuva 149. Piilihappopitoisuus mg/l.



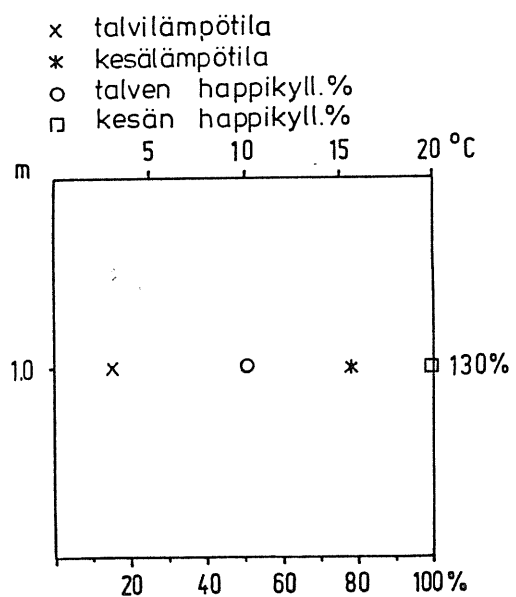
Kuva 150. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva151. pH



Kuva152. Kokonaistyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva153. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

## 6.3.5 Oulun vesi- ja ympäristöpiirin alue

## 6.3.5.1 Yleistä

Oulun alueella tutkittiin vuoden 1985 aikana kolmea harjujaksoa, joilla oli yhteensä 19 tutkimuspistettä (taulukko 27). Kaksi alueista (Jääli ja Onkamonselkä) olivat vanhoja soranottoalueita, joissa jo päättynyt soranotto on ulottunut pohjavedenpinnan alle. Puolivälin harju on luonnontilainen alue, jossa soranoton pitäisi alkaa vuoden 1987 aikana.

Vuonna 1986 laajennettiin Teerisuon alueella tutkimuksia. Alueelle asennettiin viisi uutta putkea. Putkista ja kahdesta syvästä lammikosta on otettu näytteet kevästä 1986 lähtien.

Taulukko 27. Oulun vesi- ja ympäristöpiirin vesinäytepisteet

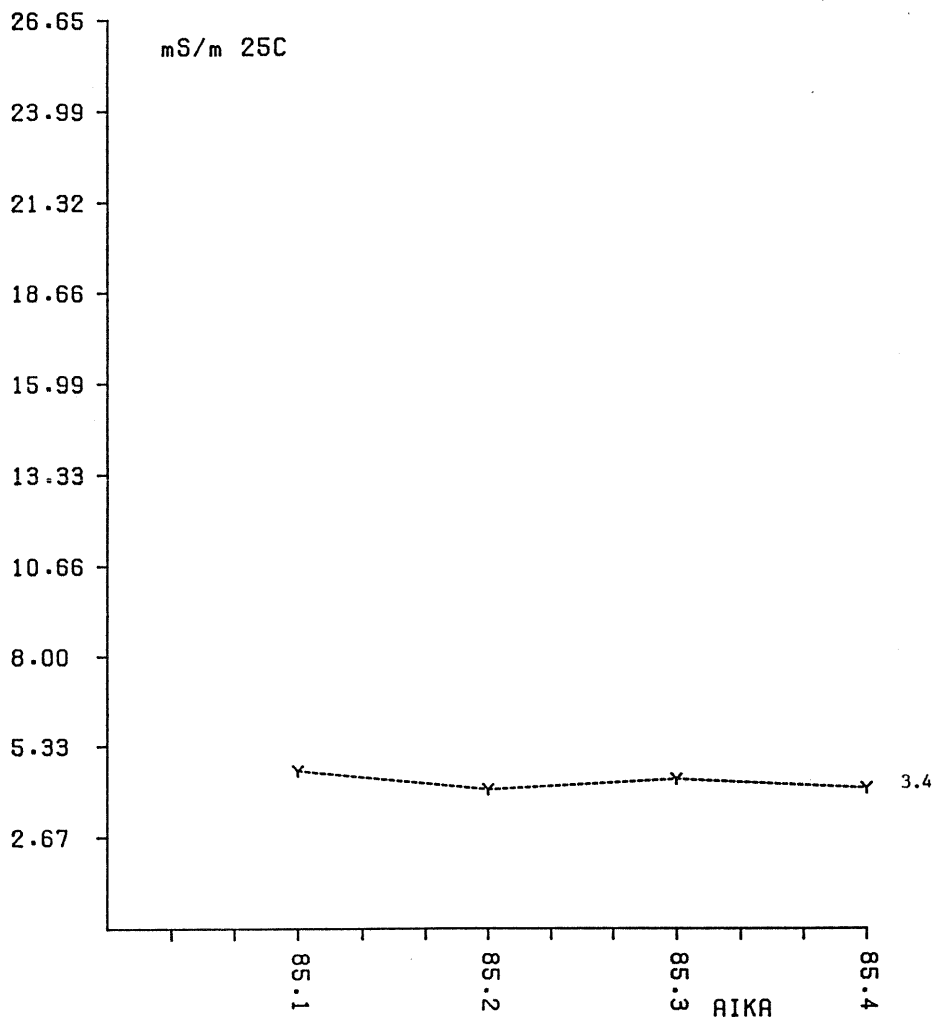
Jääli	0111AV 3.4	Putki IP 1.	näyte 1 m veden pinnasta
	0112AV 3.4	Putki IP 2.	1 m veden pinnasta
	0113AE 3.4	Putki IP 3.	1 m veden pinnasta
	0114AE 3.4	Putki IP 4.	1 m veden pinnasta
	0115AV 3.4	Putki IP 5.	1 m veden pinnasta
	0115BV 3.4	Putki IP 5.	5 m veden pinnasta
	0116AV 3.4	Lammikko 1.	1 m pinnasta
	0117AE 3.4	Lammikko 2.	1 m pinnasta
	0118AV 3.4	Lammikko 3.	1 m pinnasta
	0121AV 1.0	Vertailuputki	1 m pinnasta
	0121BV 1.0	Vertailuputki	3.5 m veden pinnasta
Puolivälinharju	0211AE 1.0	Putki PP1	1.0 m veden pinnasta
	0212AE 1.0	Putki PP2	1 m veden pinnasta
	0212BE 1.0	Putki PP2	7.0 m veden pinnasta
	0212CE 1.0	Putki PP2	9.0 m veden pinnasta
	0213AV 1.0	Putki PP3	1.5 m veden pinnasta
	0213BV 1.0	Putki PP3	4.5 m veden pinnasta
	0213CV 1.0	Putki PP3	7.5 m veden pinnasta
Onkamonselkä	0311AE 1.0	Putki HP 1.	4.0 m veden pinnasta
	0311BE 1.0	Putki HP 1.	7.0 m veden pinnasta
	0312AV 3.4	Putki HP 2.	2.0 m veden pinnasta
	0312BV 3.4	Putki HP 2.	6.0 m veden pinnasta
	0313AV 3.4	Putki HP 3.	2.0 m veden pinnasta
	0313BV 3.4	Putki HP 3.	6.0 m veden pinnasta
	0314AV 3.4	Lammikko I	1 m veden pinnasta
	0314BV 3.4	Lammikko I	8 m veden pinnasta
	0315AV 3.4	Lammikko II	1 m veden pinnasta
	0315BV 3.4	Lammikko II	7 m veden pinnasta
	0321AV 3.1	Teerisuon ottamo	1 m veden pinnasta
	0331A 3.1	Koniharjun lähde	

### 6.3.5.2 Pohjavesi

Puolivälinharjun tutkimusalueelle on asennettu kolme syvää pohjaveden havaintoputkea. Harjuaines on kuitenkin niin hienoa, että mineraaliaineksen määrä vesinäytteessä on ollut jatkuvasti liian korkea eikä analyysituloksiin ole voitu luottaa. Näytteenottoa on jatkettu ainoastaan yhdestä putkesta. Myös Jäälin alueen pohjavesiputkien näytteenottoa ja analyysien luotettavuutta on jatkuvasti haitannut hienoa-

### 6.3.5.3 Lammikkovesi

Oulun alueella on tutkittu viittä soranoton aiheuttamaa lammikkoa. Jäälin alueen lammikot ovat matalia, noin kahden metrin syvyisiä melko reheviä lammikoita. Onkamonselän lammikot ovat suuria 7-8 metrin syvyisiä, karuja lammikoita. Niiden väliselle kannakselle ja alavirranpuoleisen lammikon alapuolelle on asennettu pohjavesiputket. Havaintoputkiaineisto käsitellään seuraavassa raportissa. Kuvassa 154 on Oulun piirin lammikoiden sähkönjohtavuusarvojen mediaaniarvot.



Kuva 154. Oulun vesi- ja ympäristöpiirin lammikkovesinäytteiden sähkönjohtavuusarvojen (mS/m, 25 o) mediaaniarvot (3.4 = laaja pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto päättynyt)

Jääli, Lammikko 1. eteläisin

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alapuolista  
soranottoa).

O116AV = lammikkonäyte,  
1 m

Sameus FTU	O116AV
Sähkönjoht. mS/m 25C	1.6C
Alkaliniteetti mval/l	2.6C
Väriluku Pt mg/l	C.08
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	2C.0C
Kokonaistyyppi N mg/l	17.4C
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	C.24
Kokonaisfosfori P ug/l	C.01
Kloridi Cl mg/l	14.0C
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	2.2C
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	4.9C
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	6.2C
Orgaaninen hiili C mg/l	1.2C
Kalsium Ca mg/l	5.7C
Magnesium Mg mg/l	1.9C
Natrium Na mg/l	C.66
Kalium K mg/l	1.8C
Rauta Fe mg/l	C.8C
Mangaani Mn mg/l	<C.05
Kupari Cu ug/l	C.04
Lyijy Pb ug/l	1.7C
Kadmium Cd ug/l	C.8C
Kromi Cr ug/l	C.1C
Koboltti Co ug/l	C.5C
Alumiini Al ug/l Suod.	<C.5C
	13.0C

Liiteosan sivut  
143 - 156.

Taulukko 28. Vuoden 1985 lammikkonäyt-  
teiden mediaaniarvot

Tutkimusalueen näytepaikkana on 2,0 metrin syvyinen lammikko, lammikon koko on 2,9 ha. Tutkimusalue on matalan harjun hiek-  
kavaltaisessa osassa. Hiekka on niin hienoa, että se on vai-  
keuttanut tutkimuksia tukkimalla havaintoputkia.

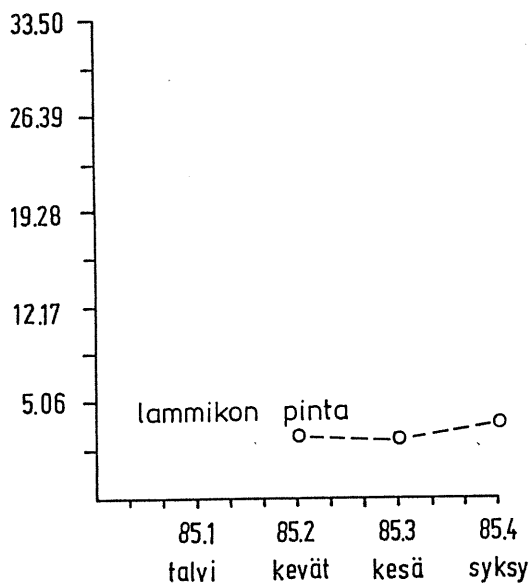
Alueelta on otettu ainesta pohjavedenpinnan alapuolelta niin  
paljon, että alue on täynnä erikokoisia lammikoita. Lammikon  
läheisyydessä on hevostalli ja vilkkaasti liikennöity tie.

Lammikko ei ole läpivirtauslammikko. Sähkönjohtavuus ja  
piihappopitoisuus ovat hyvin pieniä. Vesi on hapanta ja  
alkaliniteetti on hyvin alhainen. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on suuri.

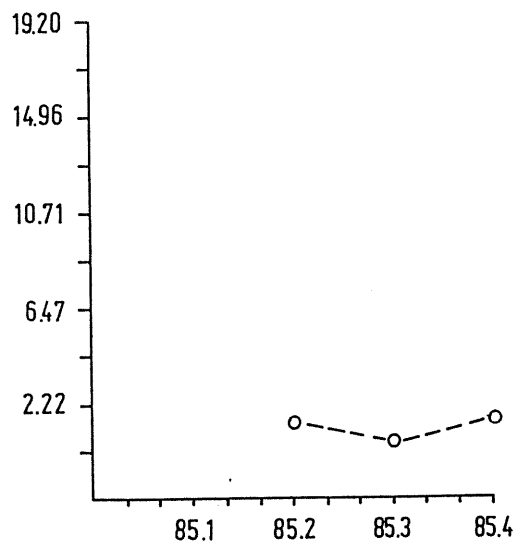
Ravinnetaso on kohtalaisen vähäinen, mutta pitoisuus vaihte-  
lee voimakkaasti. Tuotantotaso on korkeahko.

Indikaattoribakteereja esiintyy vain pieniä määriä.

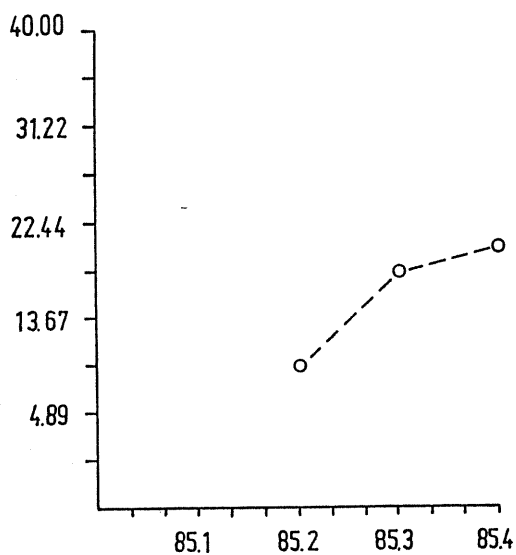
Lammikko on vähäsuolainen, mutta melko rehevä.



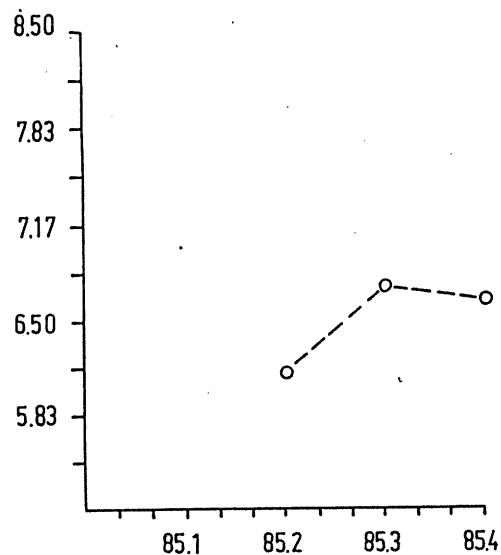
Kuva 155. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



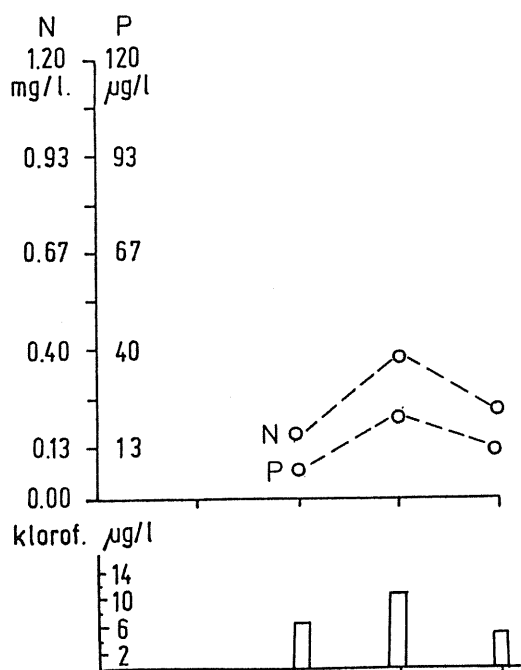
Kuva 156. Piihappopitoisuus mg/l.



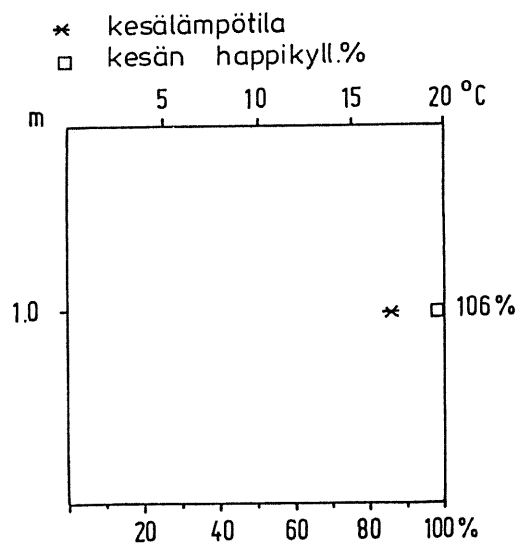
Kuva 157. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 158. pH



Kuva 159. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 160. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Jääli, Lammikko 3. pohjoisin

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alapuolista  
soranottoa).

0118AV = lammikkonäyte,  
1 m

Sameus FTU	0118AV
Sähkönjoht. mS/m 25C	1.65
Alkaliniteetti mval/l	1.95
Väriluku Pt mg/l	C.05
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	22.50
Kokonaistyyppi N mg/l	15.25
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	C.36
Kokonaisfosfori P ug/l	C.10
Kloridi Cl mg/l	18.00
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	1.00
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	4.05
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	3.40
Orgaaninen hiili C mg/l	1.55
Kalsium Ca mg/l	4.30
Magnesium Mg mg/l	1.10
Natrium Na mg/l	C.55
Kalium K mg/l	1.50
Rauta Fe mg/l	C.75
Mangaani Mn mg/l	C.09
Kupari Cu ug/l	C.08
Lyijy Pb ug/l	2.00
Kadmium Cd ug/l	<0.50
Kromi Cr ug/l	C.15
Koboltti Co ug/l	<0.50
Alumiini Al ug/l Suod.	<0.50
	19.00

Liiteosan sivut  
143 - 156.

Taulukko 29. Vuoden 1985 lammikkonäyt-  
teiden mediaaniarvot

Tutkimusalueen näytepisteenä on lammikko, joka on suurimmalta osin 2 metrin syvyinen. Lammikon koko on 2,9 ha. Tutkimusalue on matalan harjun hiekkavaltaisessa osassa. Hiekka on erittäin hienoa.

Alueelta on otettu ainesta pohjavedenpinnan alapuolelta niin paljon, että alue on täynnä erikokoisia lammikoita.

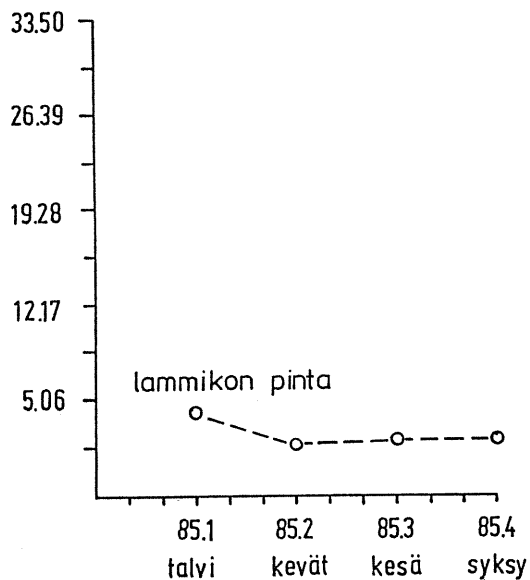
Lammikon vesi ei ole läpivirtaavaa. Sähkönjohtavuusarvo ja piihappopitoisuus ovat hyvin pienet. Vesi on hapanta ja alkaliniteetti on hyvin alhainen. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on suuri ja vuodenaikaisvaihtelut ovat suuria.

Lammikossa on talvella selvä hapenvajaus.

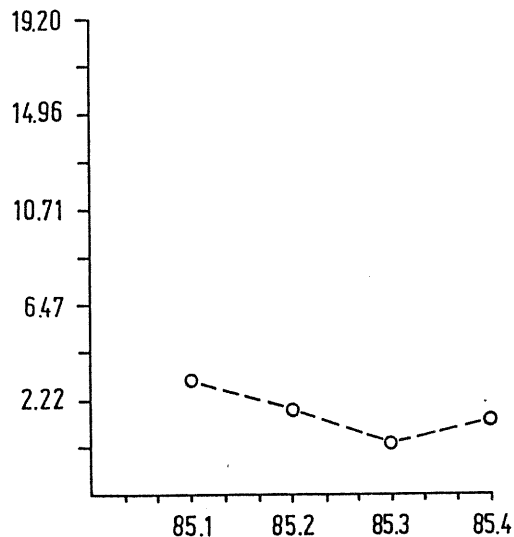
Ravinnetaso on muuten kohtalainen, mutta kesän fosforipitoisuus on hyvin korkea. Tuotantotaso on kohtalainen.

Lammikkovedessä on ajoittain runsaasti koliformisia bakteereja.

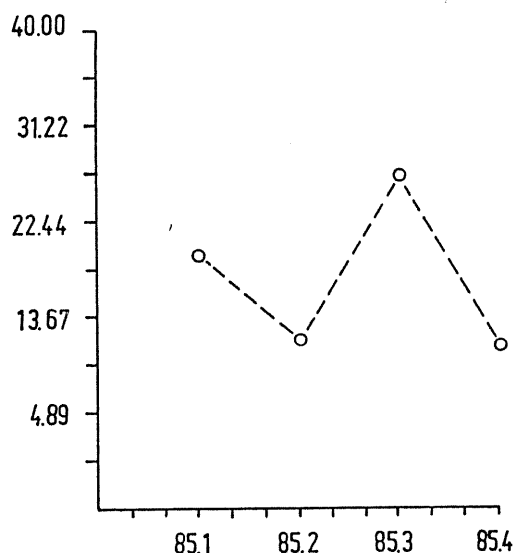
Lammikko on vähäsuolainen, mutta siinä on suhteellisen runsaasti orgaanista ainesta.



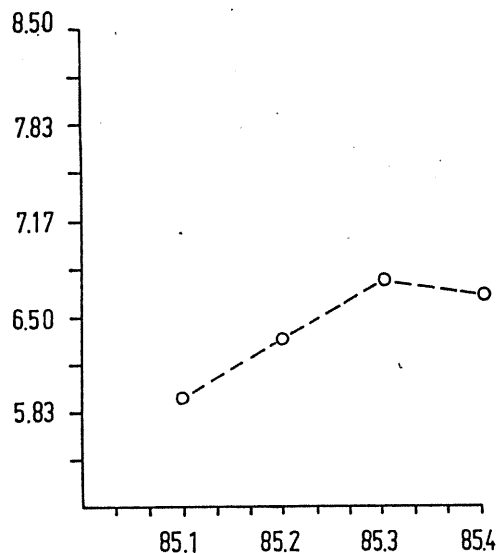
Kuva 161. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



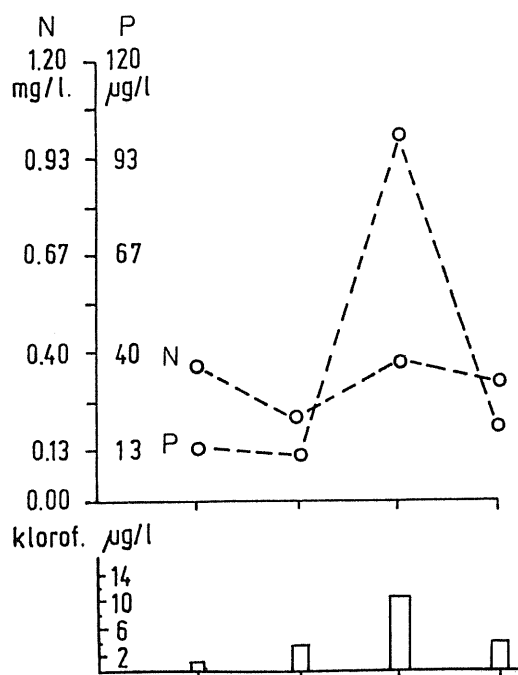
Kuva 162. Piihappopitoisuus mg/l.



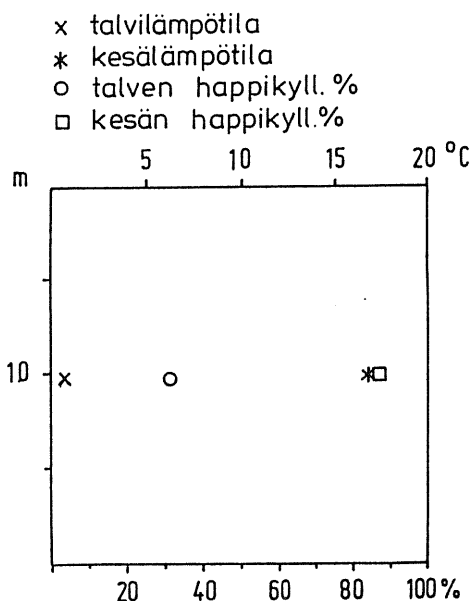
Kuva 163. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 164. pH



Kuva 165. Kokonaistyyppi, mg/l, kokonais-fosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 166. Talvi- ja kesänäytteen lämpö-tilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Onkamonselkä,  
läntinen lammikko

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alapuolista  
soranottoa).

0314AV = lammikon pinta-  
näyte, 1 m

0314BV = lammikon pohja-  
näyte, 8 m

0313AV = putki alavirran  
puolella pintanäyte

0313BV = putki alavirran  
puolella pohjanäyte

	0314AV	0314BV
Sameus FTU	1.9C	4.6C
Sähkönjoht. mS/m 25C	4.3C	5.4C
Alkaliniteetti mval/l	0.27	0.31
Väriluku Pt mg/l	10.00	40.00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	3.8C	4.4C
Kokonaistyyppi N mg/l	0.09	0.10
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.01	0.03
Kokonaisfosfori P ug/l	7.00	11.00
Kloridi Cl mg/l	1.60	1.70
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	4.60	5.60
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	2.80	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	5.60	9.90
Orgaaninen hiili C mg/l	1.70	2.00
Kalsium Ca mg/l	2.00	2.50
Magnesium Mg mg/l	0.98	1.10
Natrium Na mg/l	3.30	3.70
Kalium K mg/l	0.60	0.70
Rauta Fe mg/l	0.06	0.24
Mangaani Mn mg/l	0.02	0.11
Kupari Cu ug/l	1.70	0.90
Lyijy Pb ug/l	0.60	0.60
Kadmium Cd ug/l	0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	1.00	<0.50
Koboltti Co ug/l	<0.50	0.60
Alumiini Al ug/l Suod.	7.80	5.70

Liiteosan sivut  
166 - 177.

Taulukko 30. Vuoden 1985 lammikonäyt-  
teiden mediaaniarvot

Onkamonselän tutkimusalueella on kaksi peräkkäistä syvää lammikkoa ja niiden välillä ja alimman lammikon alapuolella on havaintoputki. Itäinen lammikko on syvimmästä kohdasta 9 metrin syvyinen ja 2,8 ha kokoinen ja läntinen lammikko on syvimmästä kohdasta 9,7 metrin syvyinen ja 2,5 ha kokoinen. Lammikoiden välissä oleva kannas on 30 m leveä. Harjumuodos-  
tuman aines on hiekkaa.

Alueelta on otettu runsaasti soraa pohjavedenpinnan ala-  
puolelta. Alueen itäosan, vertailuputken ja itäisen lammikon  
väliltä kulkee maantie. Pohjavettä kuormittavaa muuta toimin-  
taa ei alueella ole.

Lammikko on läpivirtauslammikko. Sähkönjohtavuusarvot ovat  
samaa suuruusluokkaa kuin molemmissa putkissa, samoin pohja-  
näytteen piihappopitoisuus. Alkaliniteetti on kohtalainen ja  
pH lähes neutraali. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on pieni.

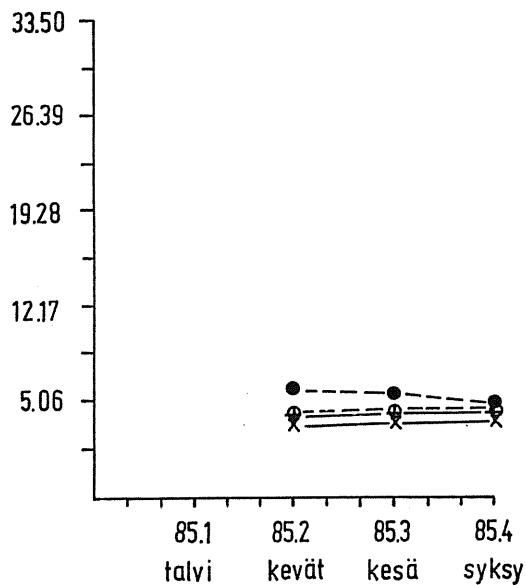
Lammikon vesi on lämpötilakerrostunut. Alusvedessä on kesällä  
hapen vajausta.

Ravinnetaso on erittäin alhainen ja tuotanto on pieni.

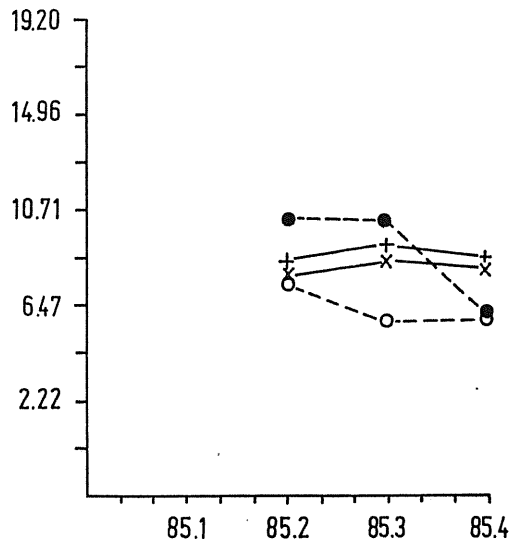
Vedessä on ajoittain vähän koliformisia bakteereja.

Lammikko on karu.

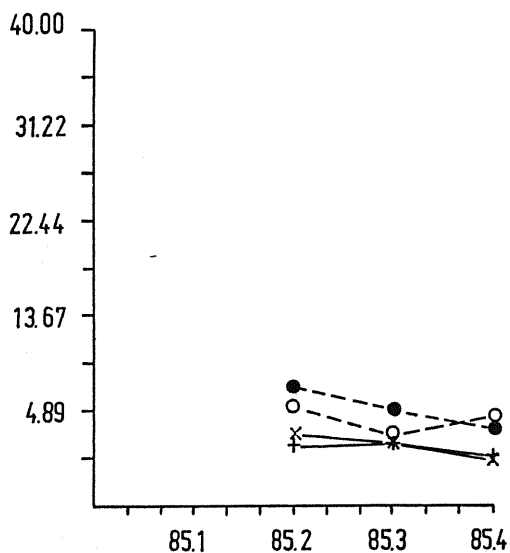




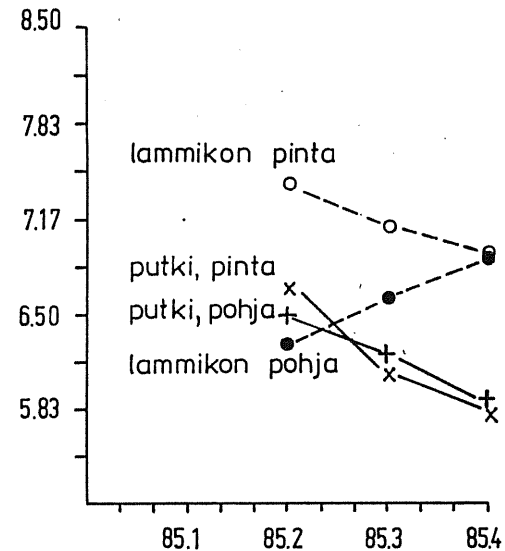
Kuva 167. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



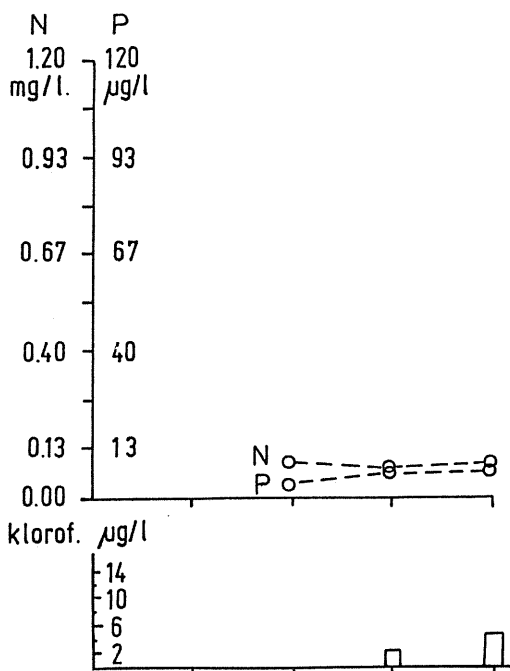
Kuva 168. Piihappopitoisuus mg/l.



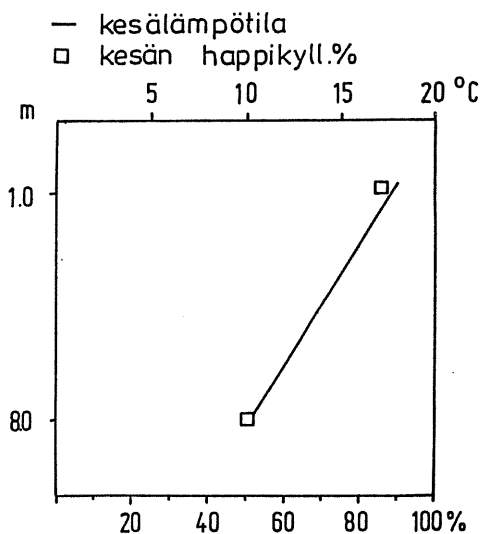
Kuva 169. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 170. pH



Kuva 171. Kokonaistyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.



Kuva 172. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

Onkamonselkä,  
itäinen lammikko

Soranottotilanne 3.4.  
(ollut aikaisemmin  
laajalti pohjaveden-  
pinnan alapuolista  
soranottoa).

0315AV = lammikon pinta-  
näyte, 1 m  
0315BV = lammikon pohja-  
näyte, 6 m  
0312AV = kannaksen putken  
pintanäyte  
0312BV = kannaksen putken  
pohjanäyte

	0315AV	0315BV
Sameus FTU	0.89	2.75
Sähkönjoht. mS/m 25C	4.25	5.00
Alkaliniteetti mval/l	0.22	0.23
Väriluku Pt mg/l	10.00	22.50
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	2.25	2.45
Kokonaistyyppi N mg/l	0.11	0.05
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0.04	<0.01
Kokonaisfosfori P ug/l	6.00	11.50
Kloridi Cl mg/l	1.40	1.70
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	5.55	7.45
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	1.55	
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	7.05	9.75
Orgaaninen hiili C mg/l	1.70	1.55
Kalsium Ca mg/l	2.20	2.25
Magnesium Mg mg/l	0.92	1.10
Natrium Na mg/l	2.80	3.25
Kalium K mg/l	0.60	0.80
Rauta Fe mg/l	0.08	<0.05
Mangaani Mn mg/l	0.03	0.16
Kupari Cu ug/l	1.45	1.40
Lyijy Pb ug/l	0.50	0.70
Kadmium Cd ug/l	<0.10	<0.10
Kromi Cr ug/l	<0.50	0.90
Koboltti Co ug/l	<0.50	4.70
Alumiini Al ug/l Suod.	4.70	5.65

Liiteosan sivut  
166 - 177.

Taulukko 31. Vuoden 1985 lammikko- ja  
putkinäytteiden mediaani-  
arvot

Onkamonselän tutkimusalueella on kaksi peräkkäistä syvää lammikkoa ja niiden välillä ja alimman lammikon alapuolella on havaintoputki. Itäinen lammikko on syvimmästä kohdasta 9 metrin syvyinen ja 2,8 ha kokoinen ja läntinen lammikko on syvimmästä kohdasta 9,7 metrin syvyinen ja 2,5 ha kokoinen. Lammikoiden välissä oleva kannas on 30 m levyinen. Harju-muodostuman aines on hiekkaa.

Alueelta on otettu runsaasti soraa pohjavedenpinnan alapuolelta. Alueen itäosan, vertailuputken ja itäisen lammikon väliltä kulkee maantie. Pohjavettä rasittavaa muuta toimintaa ei alueella ole.

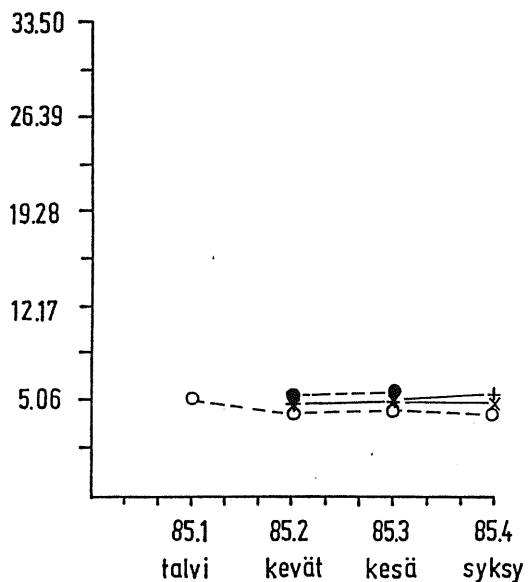
Lammikko on läpivirtauslammikko. Sähkönjohtavuusarvot ovat melko pienet. Piihappopitoisuudet ovat suuret, mutta pienevät päällyysvedessä kesällä. Alkaliniteetti on pieni ja vesi on melko hapanta. KMnO<sub>4</sub>-kulutus on pieni. pH on lähes neutraali.

Lammikkovesi on lämpötilakerrostunut ja siinä on hapenvajaus-  
ta sekä talvella että kesällä.

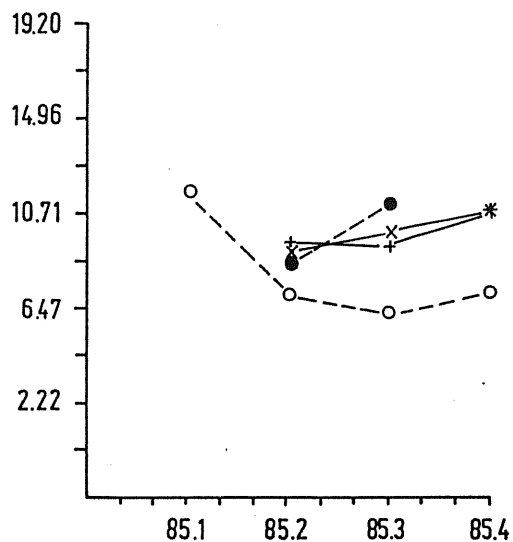
Ravinne- ja tuotantotaso on erittäin alhainen.

Lammikossa on ajoittain koliformisia bakteereja.

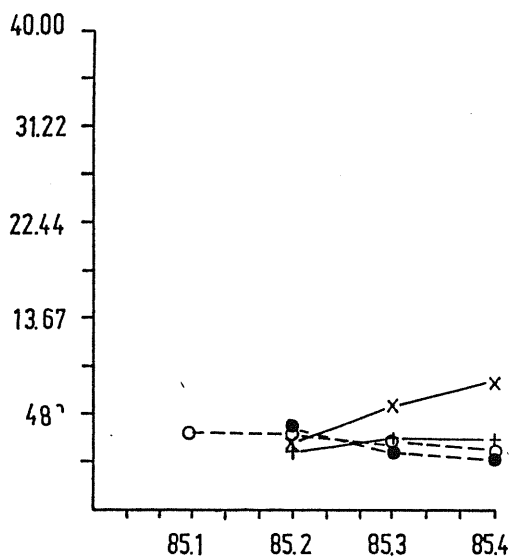
Lammikko on karu.



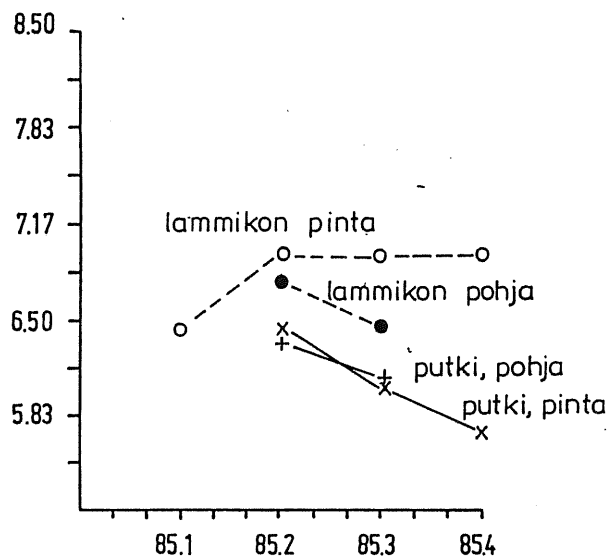
Kuva 173. Sähkönjohtavuus mS/m, 25 °C.



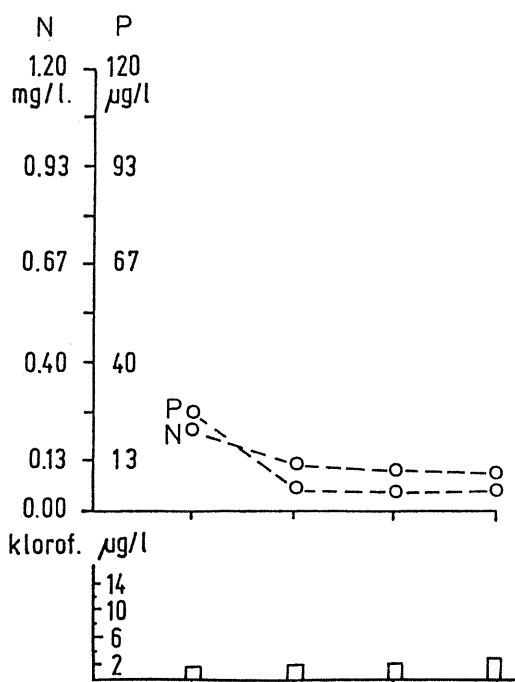
Kuva 174. Piihappopitoisuus mg/l.



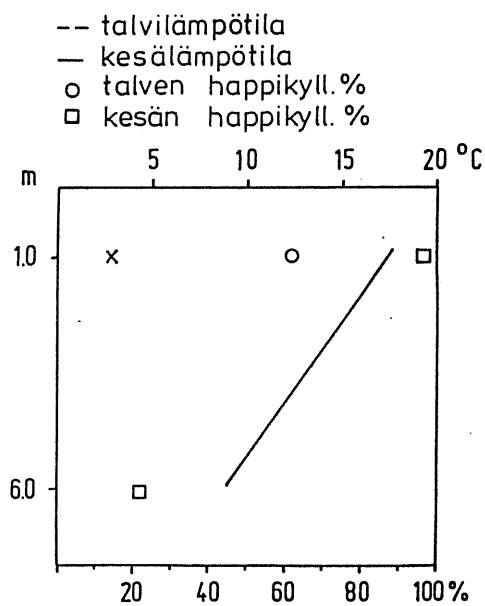
Kuva 175. Kaliumpermanganaatinkulutus, mg/l.



Kuva 176. pH



Kuva177. Kokonaistyppi, mg/l, kokonaisfosfori, µg/l, klorofylli a, µg/l.

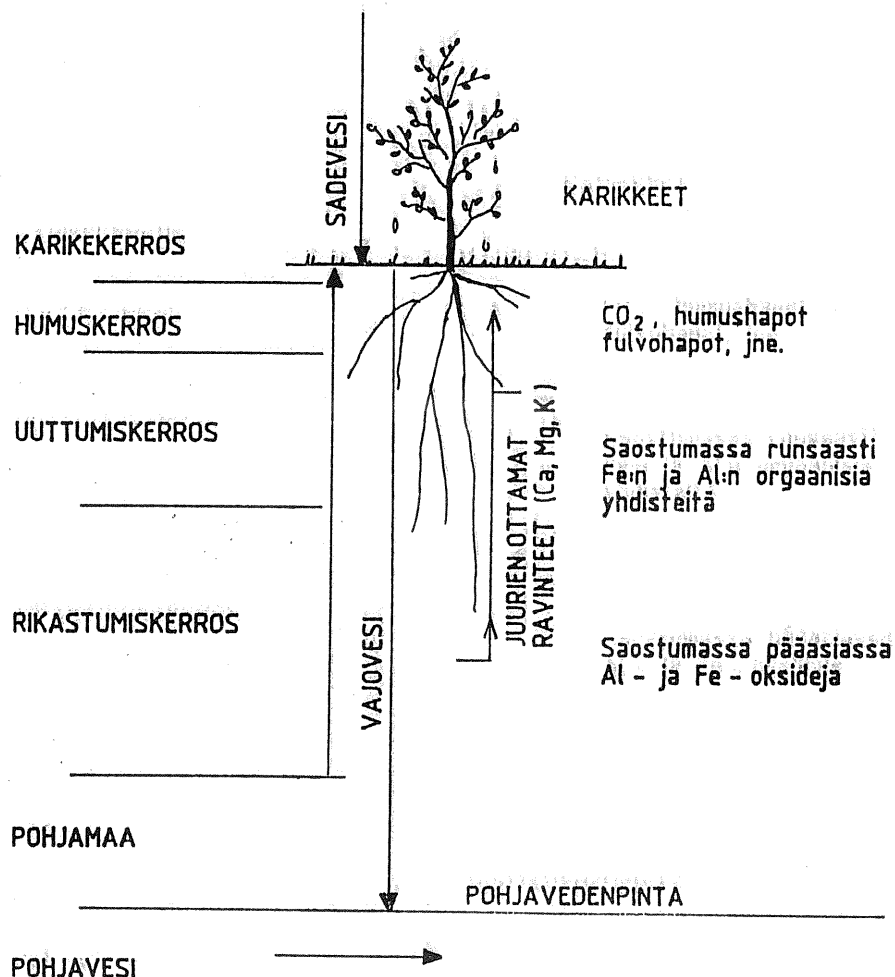


Kuva 178. Talvi- ja kesänäytteen lämpötilaprofiilit ja happipitoisuudet.

## 7 TULOSTARKASTELU

## 7.1 Yleistä

Veden kiertokulku sateesta pohjavedeksi on esitetty kuvassa 179. Pohjaveden koostumukseen vaikuttavat sadeveden koostumus, vajovedessä ja pohjavesikerroksessa tapahtuvat muutokset. Vajoveden koostumus, erityisesti maannoskerroksessa, vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Pohjavedessä vuodenaikaiset vaihtelut ovat pienempiä. Luonnonolosuhteissa on veden ja maaperän välille muodostunut vuodenaikaisesti vaihteleva kemiallisten reaktioiden tasapaino, jota kasvillisuuden ja ilmaston vaihtelut vain vähän muuttavat. Viime vuosikymmeninä sadeveden koostumus on muuttunut ja ihmisen toiminta (mukaanluettuna maa-aineksen otto) on muuttanut vanhaa tasapainotilaa.



Kuva 179. Veden kiertokulku sateesta pohjavedeksi.

## 7.2 Sadeveden koostumus

Merkittävä osa vajo- ja pohjaveden ioneista on peräisin sadevedestä. Sadeveden koostumuksessa on suuria alueellisia eroja, jotka tulee ottaa huomioon vajo- ja pohjaveden koostumuksen tarkastelussa.

Sadeveden koostumusta seurattiin Tuusulan lysimetriasemalla (taulukko 32). Näytteet sisältävät myös kuivan laskeuman liuenneen osan.

Taulukko 32. Sadevesinäytteiden koostumuksen vaihtelurajat (Heinäkuu - marraskuu 1985)

pH	4,1 - 5,3	
sähkönjohtavuus	1,6 - 5,0	mS/m
KMnO <sub>4</sub> -luku	5 - 26	mg/l
Kloridi, Cl	0,5 - 3,0	mg/l
Nitraatti, NO <sub>3</sub>	<1 - 3,7	mg/l
Sulfaatti, SO <sub>4</sub>	2,0 - 10,0	mg/l
Bikarbonaatti, HCO <sub>3</sub>	2,5 - 12,8	mg/l
Kalsium, Ca	0,5 - 1,6	mg/l
Magnesium, Mg	0,1 - 0,6	mg/l
Natrium, Na	0,5 - 1,6	mg/l
Kalium, K	0,05 - 1,1	mg/l
Piidioksidi, SiO <sub>2</sub>	0,2 - 0,8	mg/l
Mangaani, Mn	<0,02 - 0,16	mg/l
Kupari, Cu	4,2 - 19	mg/l
Sinkki, Zn	<20 - 120	mg/l
Nikkeli, Ni	1,1 - 5,0	mg/l
Lyijy, Pb	0 - 6,5	mg/l
Koboltti, Co	-	
Kadmium, Cd	0,1 - 1,0	mg/l
Alumiini, Al	18 - 120	mg/l

Sadeveden koostumus vaihteli ilmeisen satunnaisesti vuoden ajasta riippumatta. Sadevesi on hapanta, muuta rajua hapanta laskeumaa ei tarkastelujaksolle osunut. Sadevesi on niukka-suolaista. Anioneista runsaimmin on bikarbonaattia ja sulfaattia ja kationeista kalsiumia ja natriumia. Raskasmetallien pitoisuudet ovat pieniä; eniten on sinkkiä. Sadeveden pääkomponenttien (Ca, Mg, Na, K, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl) pitoisuustaso on samaa suuruusluokkaa kuin 1970-luvulla (Järvinen, O., Haapanen, K. 1980).

## 7.3 Lysimetrivesien koostumus

### 7.3.1 Yleistä

Vajoveden koostumukseen vaikuttavat sadeveden koostumus, evapotranspiraation aiheuttama pitoisuuksien kasvu, maannoskerroksen (podsolikerroksen) biologiset, biokemialliset, kemialliset ja fysikaaliset prosessit (reaktioiden luonne vaihtelee vuodenaikojen mukaan), veden ja mineraaliaineksen väliset reaktiot sekä maannoskerroksen poistaminen.

## 7.3.2 Tuusulan alue

## pH

Maannoslysimetrissä (luonnontilaisen pintakerroksen alla) vajoveden pH oli korkeimmillaan (6,1) keväällä, lumen sulamisen aikaan. Maaperän vaihtuvien kationien määrä on keväällä suuri, koska talvella maan ollessa jäätyneenä, kationeja ei huuhtoudu pintakerroksista. Routa myös lisää kationien määrää rapauttamalla mineraaliainesta veden jäätymisen yhteydessä tapahtuvasta tilavuuden kasvusta johtuen. Lumen pH-arvo on noin kaksi yksikköä korkeampi kuin lysimetriin tulevan sulaveden pH.

Kesän mittaan pH vakioitui tasolle 5,4 laskien kuitenkin elokuun lopussa arvoon 5,1. Kasvillisuus käyttää vaihtuvia kationeja ravinnokseen ja luovuttaa samalla vetyioneja tilalle.

Kasvukauden loppuminen syyskuussa lämpötilan laskettua lähelle nollapistettä nosti vajoveden pH-tasoa jonkin verran (5,6). Tämän jälkeen pH:n vaihtelut seurasivat sateen pH:n vaihteluja lumentuloon saakka.

Talvinäytteissä pH nousi joulukuun lopun 5,3:sta toukokuun alun 5,7:ään. Eri aineiden huuhtoutumisen pH-riippuvuuksista ei ole vielä saatu selvää kuvaa muiden kuin alumiinin suhteen. Kesäaikana Al-pitoisuus maannoslysimetrinäytteissä suureni, kun pH-arvo laski. Vertailulysimetrissä (kasvillisuus ja maannoskerros poistettu) vajoveden pH:n vaihtelut olivat pienemmät kuin maannoslysimetrissä. Keväällä pH oli 5,6. Kesällä ja syksyllä se oli noin 5,3 - 5,5. Talvella näytteitä ei saatu. Kevään -86 ensimmäisessä näytteessä pH:n arvo oli 5,6.

Pohjaveden pH lysimetrien lähellä olevassa havaintoputkessa oli keväällä korkeimmillaan 6,3. Kesällä se laski tasolle 6,0 ja syksyllä vielä tasolle 5,8. Talvella se oli noin 6. Muutokset pohjavedessä olivat saman suuntaisia kuin maannoslysimetrissä, mutta vaihtelut olivat pienempiä ja hitaampia.

Edellä mainittujen tulosten mukaan sadeveden pH (keskim. 4,3) nousee maan pintaosassa 40 cm:n matkalla lysimetreihin (pH keskim. 5,5) yhden yksikön verran. Lysimetreistä pohjaveteen, etäisyys 19 m, pH nousee noin puoli yksikköä.

## Muut komponentit

Maannoslysimetrissä kevään sulamisvaihe tapahtui kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa lumen sulamisen aikaan sähkönsuuntausarvo nousi lumeen rikastuneiden aineiden huuhtoutuessa maaperään. Tällöin huuhtoutui myös rapautumistuotteita. Suhteellisesti korkeimpia olivat bikarbonaatti-, kloridi-, kalsium-, nitraatti-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet. Raskasmetalleista huuhtoutuivat tässä vaiheessa lyijy, kupari, nikkeli ja sinkki.

Toisessa vaiheessa roudan sulamisen jälkeen lisääntyi erityisesti natriumin osuus. Sulfaatti ja alumiini lähtivät

myös myöhemmin liikkeelle; alumiini roudan mukana, sulfaatti ilmeisesti hitaan liikkumisen johdosta.

Nitraatin huuhtoutuminen ei niinkään liity lumen sulamiseen, vaan siihen, että typpiyhdisteiden mineralisaatiota tapahtuu myös talvella, ja koska kasvillisuus on lepotilassa, nitraatti pääsee liikkumaan vajoveden mukana.

Vertailulysimetrissä ei kuten maannoslysimetrissä sähkönsähtöjohtavuuden nousua ollut. Lysimetrin päällä oleva maa on maannoksen alapuolella ollut, vain vähän rapautunutta perusmaata. Lysimetrit rakennettiin lopputalvella -85, joten vertailulysimetrin päälle ei satanut enää paljon lunta, mutta maa ei silti routaantunut.

Kesällä huuhtoutuneiden aineiden määrissä ei tapahtunut suuria vaihteluja. Sähkönsähtöjohtavuusarvo vakioitui kevään huippuja huomattavasti alhaisemmalle tasolle. Kasvillisuuden vaikutus näkyi erityisesti kaliumin huuhtoutumisessa. Sen määrä maannoslysimetrin näytteessä oli pienimmillään voimakaimman kasvukauden aikana toukokuun lopussa. Syksyä kohden määrä kasvaa hitaasti kasvien ravinnontarpeen vähetessä. Vertailulysimetrissä kaliumin määrä oli kasvukauden aikana suurempi kuin maannoslysimetrissä, koska sitä käyttävää kasvillisuutta ei lysimetrin päällä ollut. Sadevedessä kaliumia on jatkuvasti vähemmän kuin lysimetrinäytteissä, joten pääosa huuhtoutumisesta on mineraalien rapautumisesta peräisin. Samoin kuin kalium käyttäytyvät myös kalsium ja magnesium.

Maannoslysimetrinäytteissä kasvukauden päättyminen syksyllä näkyi erityisen selvästi orgaanisen aineksen huuhtoutumisen aiheuttamasta kaliumpermanganaattiluvun voimakkaasta noususta syyskuun puolivälissä. Tätä edelsi ilman lämpötilan lasku lähelle nollapistettä. Lokakuun alkupuolella  $\text{KMnO}_4$ -luku laski lyhytaikaisesti. Tämä johtui lämpimästä kaudesta, jonka aikana kasvillisuus oli toiminnassa. Marraskuun puolivälissä kaliumpermanganaattiluku oli noin 16-kertainen kesän tasoon verrattuna. Lumentulon aikoihin orgaanisen aineksen huuhtoutuminen palautui kesän tasolle.

$\text{KMnO}_4$ -käyrän kanssa muodoltaan lähes identtiset olivat sulfaatti-, alumiini- ja kuparikäyrät.

Natriumin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, nitraatin, kloridin ja nikkelin huuhtoutuminen oli myös erittäin voimakasta syksyllä, mutta niiden pitoisuuskäyrien muoto poikkesi edellisistä.

Bikarbonaatin, piidioksidin, kadmiumin, mangaanin, raudan, sinkin ja lyijyn huuhtoutumista ei syksyllä tapahtunut.

Vertailulysimetrissä ei tätä samaa voimakasta syyshuuhtoutumista kuin maannoslysimetrinäytteissä havaittu. Vain kalsiumpitoisuus nousi lievästi. Joidenkin aineiden pitoisuuksissa tapahtui lievää laskua ilmeisesti rapautumisintensiteetin pienetessä lämpötilan laskiessa ja lämpötilan vaihteluiden pienetessä.

Pohjavedessä nousivat syksyllä lievästi kalsium-, magnesium-, bikarbonaatti-, sulfaatti-, nikkeli-, kupari- ja alumiinipitoisuudet. Maannoslysimetrissä havaitut voimakkaat muutokset tasoittuvat maaperässä aineiden saostuessa maannoksen rikastumishorisonttiin ja sen alla olevaan perusmaahan. Aineiston tähänastisen käsittelyn perusteella sademäärän vaikutusta eri aineiden huuhtoutumiseen ei voitu todeta.

### 7.3.3 Lammin alue

Lammin tutkimusalueella tutkimukset ovat alkuvaiheessa. Lysimetrit on asennettu loppuvuodesta -85.

Lammilla maaperän kiviaineksen mineraalikoostumus on toinen kuin Tuusulassa ja kasvillisuus on siellä rehevämpää.

Rapautuminen maan pintaosissa on voimakasta, mikä johtuu mahdollisesti sulfidipitoisesta mineraalialaineksesta.

Maannoslysimetreissä vesi oli happamampaa kuin Tuusulassa. Maaperän puskurikapasiteetti on kuitenkin hyvä, koska pH on noin 6,5 ja vertailulysimetreissäkin noin 6,0. Kalsiumia ja magnesiumia huuhtoutuu paljon pohjaveteen. Lysimetrinäytteissä; varsinkin maannoslysimetrien, oli korkeita raskasmetallipitoisuuksia, esimerkiksi nikkelipitoisuus. Pohjaveteen asti raskasmetallit eivät kuitenkaan kulkeudu.

## 7.4 Pohjavesien koostumus

### 7.4.1 Yleistä

Pohjaveden koostumukseen vaikuttavat vajoveden koostumus, maaperän ja pohjaveden väliset rakeisuudesta ja mineraalikoostumuksesta riippuvat kemialliset reaktiot, veden virtausnopeus ja veden viipymä.

Tutkimustulosten erityispiirteenä on pohjavesien kokonais-elektrolyyttipitoisuuden suuri ero maantieteellisestä sijainnista riippuen. Vedet laimenevat pohjoiseen päin.

Pohjanmaan soranottoalueiden pohjavesien sähkönjohtavuusarvot ovat pienemmät kuin Etelä-Suomen luonnontilaisten harjujen pohjavesien arvot. Tämän vuoksi voidaan aineistossa tehdä keskinäisiä vertailuja ainoastaan lähellä toisiaan olevien alueiden kesken.

Seuraavassa tarkasteltavat tulokset perustuvat pääosin Tuusulan ja Haapajärven tutkimusalueiden tuloksiin. Tuusulan harjujaksolla ja Haapajärven Pitkäkankaalla on toisiaan vastaavat tutkimusalueet: suuri soravaltainen harjumuodostuma, josta otetaan laajalta alueelta runsaasti soraa pohjavedenpinnan yläpuolelta. Molemmissa muodostumissa on myös luonnontilainen valuma-alue, joka on vertailualueena.

Tutkimusalueiden erilaisuutena on näytepaikat: Haapajärvellä molemmat näytteet otetaan lähteestä ja Tuusulassa näytteet otetaan pohjaveden havaintoputkista. Tuusulassa on lisäksi voitu tutkia tilannetta, jossa harjualueen pintamaa on poistettu, tai vähäinen soranotto tai laaja soranotto on päättynyt.



Taulukko 33. Kloridin merkittävät korrelaatiot koko aineistoon.

	Luonnontilainen			Laaja soranotto		
	arvo	P	näyte- määrä	arvo	P	näyte- määrä
SiO <sub>2</sub>	+.3912	.001	56	+.3233	.166	11
kiintoaine	+.2811	.011	66	+.2334	.148	22
labr. sähkön- johtavuus	+.2603	.009	83	+.9550	.000	22
labr. pH	-.0956	.195	83	-.4642	.015	22
labr. O <sub>2</sub>	-.4138	.000	64	+.0923	.341	22
KMnO <sub>4</sub>	-.4046	.000	76	+.0046	.492	22
Nkok	+.2315	.032	65	+.9382	.000	22
NO <sub>3</sub>	+.2999	.004	79	+.8187	.000	20
PO <sub>4</sub>	+.2639	.015	67	+.2022	.183	22
SO <sub>4</sub>	+.0047	.486	58	+.8610	.000	18
alkaliniteetti	+.1904	.042	83	+.6580	.000	22
Ca	+.0126	.462	61	+.9245	.000	13
Mg	+.1159	.187	61	+.9290	.000	13
Na	+.3462	.003	61	+.9698	.000	13
K	+.2315	.036	61	+.9270	.000	13
Ni	+.0858	.255	61	+.5921	.016	13
Al suod. maton	+.4140	.009	32	+.2812	.250	8

Taulukko 34. Labr. pH:n merkittävät korrelaatiot koko aineistoon.

	Luonnontilainen			Laaja soranotto		
	arvo	P	näyte- määrä	arvo	P	näyte- määrä
labr. CO <sub>2</sub>	-.8389	.000	74	-.8293	.000	24
sameus	+.1523	.121	61	-.4779	.019	19
kiintoaine	+ 0388	.372	74	-.5014	.006	24
labr. sähkön- johtavuus	+.1425	.053	130	-.5503	.003	24
labr. O <sub>2</sub>	+.7498	.000	64	+.6644	.000	22
KMnO <sub>4</sub>	-.3594	.000	123	+ 1369	.262	24
Nkok	+.2328	.031	65	-.6132	.001	22
NO <sub>3</sub>	+.3921	.000	107	-.4825	.016	22
Cl	-.0956	.195	83	-.4642	.015	22
SO <sub>4</sub>	-.3773	.002	58	-.5691	.007	18
alkaliniteetti	+.4807	.000	130	-.6520	.000	24
Ca	+.3074	.001	95	-.8050	.000	15
Mg	+.1702	.050	95	-.8237	.000	15
Na	+.0738	.239	95	-.8125	.000	15
K	+.3900	.000	95	-.7558	.001	15
Cu	-.2132	.019	95	-.3357	.111	15

P .05 korrelaatio merkitsevä 95 % todennäköisyydellä  
 P .01 korrelaatio merkitsevä 99 % todennäköisyydellä  
 P .001 korrelaatio merkitsevä 99.9 % todennäköisyydellä

#### 7.4.2 Sähkönjohtavuus ja pH

Vuoden 1985 tulosten perusteella näyttää siltä, että soranotto lisää harjun pohjaveden kokonaiselektrolyyttipitoisuutta, erityisesti kloridi- ja nitraattipitoisuudet kasvavat. Etelä-Suomessa oli aktiivisilla soranottoalueilla sähkönjohtavuusarvojen mediaaniarvo 2,7-kertainen verrattuna luonnontilaisten harjualueiden pohjaveteen. Pohjanmaalla oli vastaava luku 1,3 (taulukot 5 ja 22).

Tuusulan harjujakson vuoden 1985 tutkimustulosten perusteella (kuva 40) pintamaan poistaminen ei vielä nosta sähkönjohtavuusarvoa poikkeavaksi luonnontilaisen alueen arvosta. Alueella, jolta pintamaa on poistettu on tosin hyvin suuret kerrospaksuudet pohjavedenpinnan yläpuolella. Myös jo päättyneen pienimuotoisen soranoton alueella ovat pohjaveden sähkönjohtavuusarvot samaa suuruusluokkaa kuin luonnontilaisilla alueilla. Päättyneen, laajan soranoton alueella ovat pohjaveden sähkönjohtavuusarvot selvästi kohonneet, arvot ovat kuitenkin pienemmät kuin aktiivisen soranoton alueella.

Etelä-Suomen laajan soranoton alueella oli pohjaveden pH 6,3 (0,501 H<sup>+</sup>  $\mu$ ekv/l) ja luonnontilaisella alueella 6,4 (0,398 H<sup>+</sup>  $\mu$ ekv/l). Pohjanmaalla oli pH:n arvo soranottoalueella 6,8 (0,158 H<sup>+</sup>  $\mu$ ekv/l) ja luonnontilaisella alueella 6,9 (0,125 H<sup>+</sup>  $\mu$ ekv/l). (Taulukot 5 ja 22).

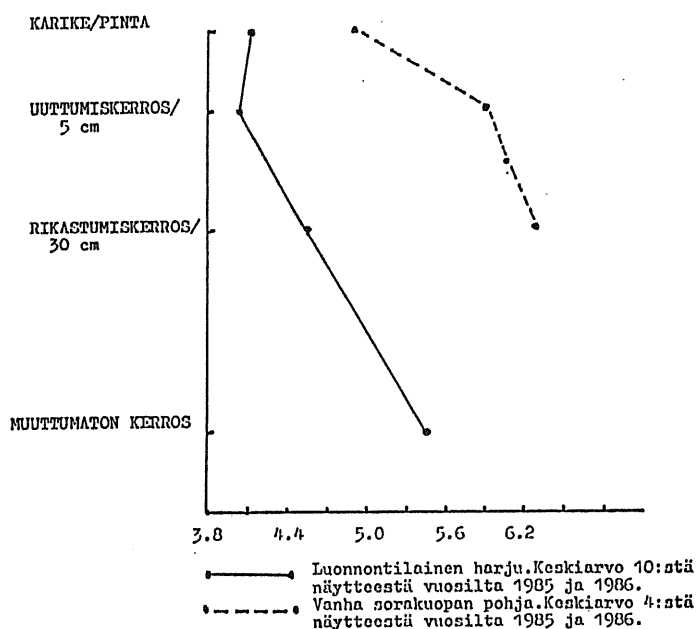
Taulukossa 33 on kloridipitoisuuden merkittävät lineaariset korrelaatiot muihin pitoisuuksiin luonnontilaisilla alueilla sekä soranottoalueilla. Aineistoon on lisätty vuoden 1986 alkupuolen aineisto, jotta korrelaatiot olisivat luotettavampia.

Taulukon 33. korrelaatiokertoimista ilmenee, että yleisimpien ionien pitoisuudet kasvavat kloridipitoisuuksien kasvaessa. Laajan soranoton alueilla pohjavesien kyseiset korrelaatiokertoimet ovat selvästi suurempia kuin luonnontilaisilla alueilla. Taulukkoon 34 on koottu pH:n merkittävät korrelaatiot muihin pitoisuuksiin. Ne osoittavat, että luonnontilaisilla alueilla pohjaveden pH:n noustessa alkalien (Na, K) ja maa-alkalien (Ca, Mg) pitoisuudet kasvavat, mutta laajan soranoton alueella ne vähenevät.

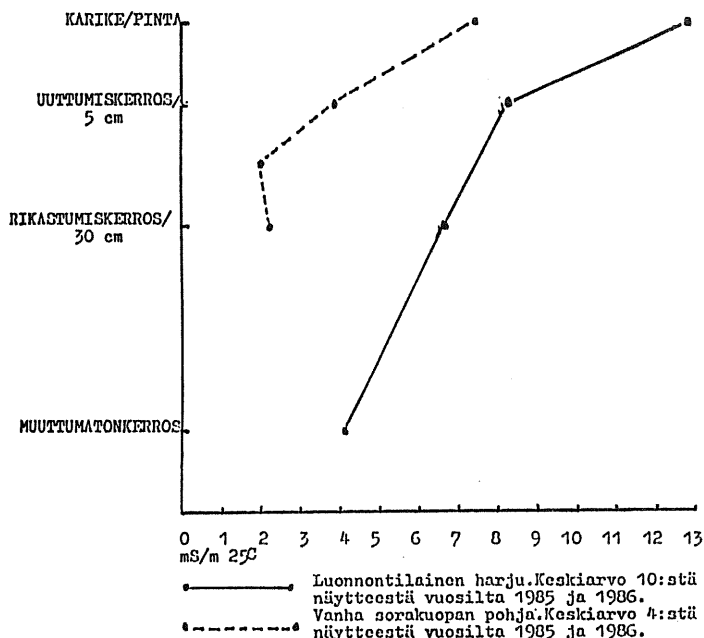
Soranottoalueiden pohjaveden kohonneita elektrolyyttipitoisuuksia on myös selvitetty ottamalla maanäytteitä. Näytteitä on otettu soranottoalueiden pohjamaasta sekä vertailunäytteet luonnontilaisen harjualueen maannoskerroksesta. Maanäytteet on uutettu tislattuun veteen ja uutoksesta on tehty taulukon 3 tähdellä merkityt määritykset. Liitteessä on uutostutkimusten tutkimusmenetelmän selostus. Sähkönjohtavuus- ja pH-tulosten perusteella vanhojen sorakuoppien pohjalle on muodostunut maannosta muistuttavat horisontit (kuvat 185 ja 1986).

Soranottoalueiden pohjaveden kohonneita elektrolyyttipitoisuuksia on myös selvitetty ottamalla maanäytteitä. Näytteitä on otettu soranottoalueiden pohjamaasta sekä vertailunäytteet luonnontilaisen harjualueen maannoskerroksesta. Maanäytteet on uutettu tislattuun veteen ja uutoksesta on tehty taulukon

3 tähdellä merkityt määritykset. Liitteessä on uutostutkimusten tutkimusmenetelmän selostus. Sähkönjohtavuus- ja pH-tulosten perusteella vanhojen sorakuoppien pohjalle on muodostunut maannosta muistuttavat horisontit (kuvat 185 ja 186).



Kuva 180. Maanäytteen uutoksen pH-profiilit luonnontilaisessa harjussa sekä vanhan sorakuopan pohjalla.



Kuva 181. Maanäytteen uutoksen sähkönjohtavuusarvon profiilit luonnontilaisessa harjussa sekä vanhan sorakuopan pohjalla.

#### 7.4.3 Happi, hiilidioksidi

Laaja soranotto lisää pohjavesien happipitoisuutta. Tulokset ovat samansuuntaisia eteläisillä ja pohjoisilla tutkimusalueilla. Jo pintamaan poistaminen nostaa pohjaveden happipitoisuutta. Etelä-Suomen tutkimusalueilla ovat myös pohjaveden hiilidioksidipitoisuudet nousseet soranoton myötä.

#### 7.4.4 Raskasmetallipitoisuudet

Vuoden 1985 tulosten perusteella näyttää, että soranotto ei vaikuta pohjavesien raskasmetallipitoisuuksiin. Lähes kaikki tulokset ovat määrittäysrajan tuntumassa. Etelä-Suomen tutkimusalueilla ovat kupari- ja nikkelipitoisuudet hieman korkeampia soranottoalueiden pohjavesissä kuin luonnontilaisten alueiden pohjavesissä (taulukko 5).

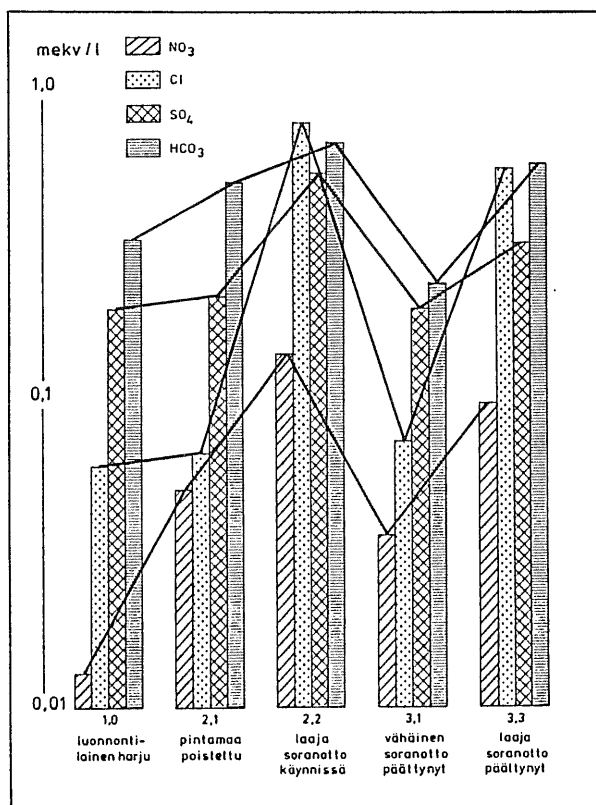
Haapajärven tutkimusalueella on alumiinipitoisuudet hieman nousseet soranoton alueella.

#### 7.4.5 Anioni- ja kationipitoisuudet

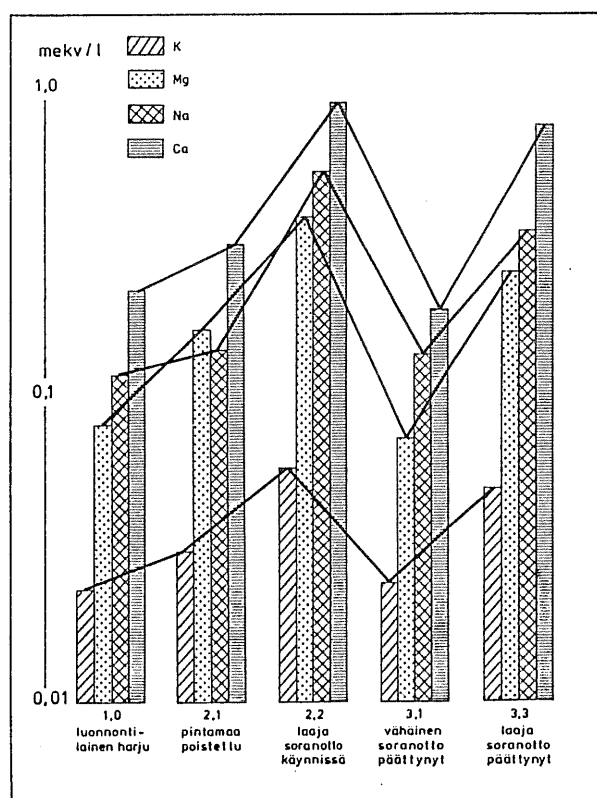
Pohjaveden kemiallisen koostumuksen pääkomponenttien (anionit:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  ja kationien:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) osalta käsitellään aineisto ekvivalentti-määrinä ja niiden suhteellisina osuuksina. Ekvivalentti saadaan jakamalla ionin milligrammoina määritetty pitoisuus sen ekvivalenttipainolla, joka on atomipaino jaettuna valenssilla

$$\text{(ekvivalentti} = \frac{x \text{ (mg/l)}}{x:n \text{ ekvivalenttipaino)}}.$$

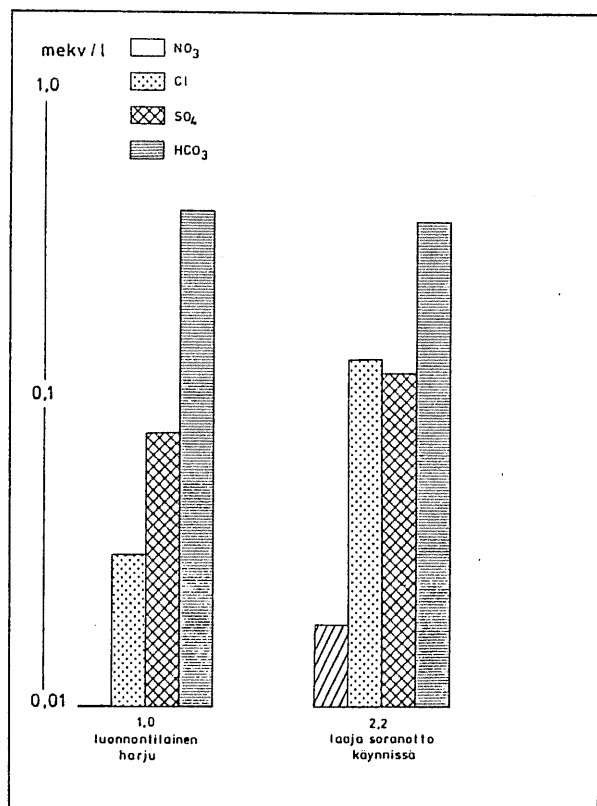
Kuvissa 182 - 185 on Tuusulan ja Haapajärven tutkimusalueiden pohjavesien ioni- ja kationipitoisuudet eri soranottotilanteissa. Pohjavedenpinnan yläpuolinen soranotto näkyy anioni- ja kationien pitoisuuksien nousuna. Pintamaan poistamisen jälkeen nousevat eniten nitraatti- ja magnesiumpitoisuudet. Kun soranotto on laajaa, nousevat kaikki pitoisuudet, mutta edellisten lisäksi eniten kloridi-, sulfaatti-, kalsium- ja natriumpitoisuudet. Tilanteessa, jossa vähäinen soranotto on jo päättynyt, on pohjaveden kationimäärät lähes samanlaiset kuin luonnontilaisella alueella, mutta nitraattipitoisuus on selvästi korkeampi. Alueella, jossa laaja soranotto on jo päättynyt, on veden laatu lähes samanlainen kuin aktiivisella soranottoalueella.



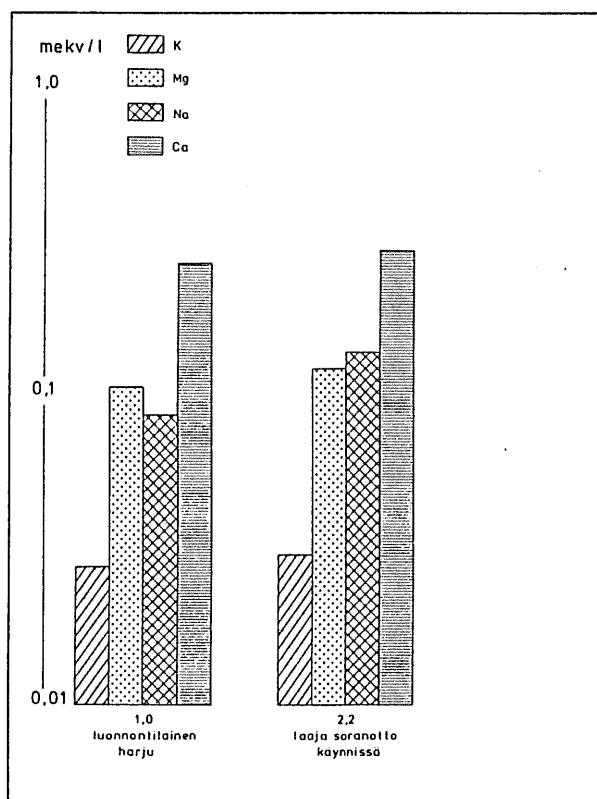
Kuva 182. Tuusulan harjujakson pohjaveden anionipitoisuudet eri soranottotilanteissa.



183. Tuusulan harjujakson pohjaveden kationipitoisuudet eri soranottotilanteissa.



Kuva 184. Haapajärven Pitkäkankaan pohjaveden anionipitoisuudet eri soranottotilanteissa.



Kuva 185. Haapajärven Pitkäkankaan pohjaveden kationipitoisuudet eri soranottotilanteissa.

Taulukko 35. Anionien ja kationien prosentuaalisten osuuksien muutokset eri soranottotilanteissa Tuusulan ja Haapajärven tutkimusalueilla. Arvot on laskettu v. 1985 näytteiden ekvivalenttimäärien mediaaneista.

	Tuusula luonnon- tilainen	laaja soranotto käynnissä	Haapajärvi luonnon- tilainen	laaja soranotto käynnissä
<b>Anionit</b>				
Cl <sup>-</sup>	10,6	36,8	5,9	20,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	32,2	25,5	14,7	19,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	54,9	31,7	78,3	57,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,2	6,5	1,1	2,9 %
	100 %			
<b>Kationit</b>				
Ca <sup>2+</sup>	44,0	48,5	55,3	50,1
Mg <sup>2+</sup>	23,1	20,1	21,9	21,0
Na <sup>+</sup>	25,4	28,6	17,0	23,7
K <sup>+</sup>	7,6	3,0	5,8	5,2

Anionien keskinäisissä suhteissa tapahtuu soranoton vaikutuksesta muutoksia. Kloridi- ja nitraattipitoisuudet kasvavat eniten ja bikarbonaattipitoisuus vähenee (taulukko 35).

Kationien suhteissa ei tapahdu yhtä selviä muutoksia, mutta natriumpitoisuus kasvaa ja magnesium- ja kaliumpitoisuudet vähenevät.

## 7.5 Lammikot ja vedenottamot

### 7.5.1 Yleistä

Soranoton vaikutuksesta syntyneen lammikon veden laatuun vaikuttaa mm. muodostuman pohjaveden koostumus ja sen virtausnopeus, pintaveden koostumus ja valuntaolosuhteet sekä lammikon syvyys, pinta-ala sekä sen sijainti pohjaveden virtauskentässä.

### 7.5.2 Lammikoiden yleiskuva

Tässä tarkastelussa käsitellään niitä 20 lammikkoa, joita on tarkoitus seurata koko tutkimuksen ajan. Tähän ryhmään ei sisälly selviä likaantumistapauksia, suoveden tai sulfidisavien voimakkaasti muuttamia tai äärimmäisen reheviä lammikoita. Luvussa 7.5.7 esitetään näistä lammikoista eräitä tapauksia.

Pohjavesilammikot ovat luonnontilaisiin vesistöihin verrattuna hyvin nuoria muodostumia. Nuorimmat lammikot ovat juuri syntyneissä ja vanhimmatkin ovat vain muutaman kymmenen vuoden ikäisiä.

Nuoren lammikon koko tila on suuressa kehitysvaiheessa. Lammikon lähiympäristön, ranta- ja pohja-alueen olosuhteet muuttuvat vuosikausien ajan ja sen kasvisto ja eläimistö ovat vakiintumattomia. Tutkimuksen perusaineistosta puuttuvat toistaiseksi lammikoiden riittävät ikätiedot eliöyhteisön kehitysnopeuden ja luonnonmukaistumisen arvioimiseksi, mikä on tärkeää lammikoiden jatkokäytön ja toimenpiteiden suunnittelulle.

Pohjaveden vaikutus on muodostuman ydinosiin tehdyille lammikoille ominainen piirre. Koko aineiston kahdestakymmenestä lammikosta puolella havaittiin selvä pohjaveden vaikutus ainakin pääosan vuodesta. Lammikot, joissa pohjaveden vaikutus oli vähäinen, sijaitsevat usein muodostuman reuna-alueilla tai ovat edellä tarkasteltua ryhmää selvästi matalampia.

Osassa lammikoista on syvyyskartoitus vielä kesken. Veden laadun ja kehityksen tarkasteluun sekä lammikoiden vaikutuksen arvioimiseksi tarvitaan ainakin arviot lammikkoveden virtauksista.

Vaikka pohjaveden virtauksia lammikoissa ei ole mitattu, nimitetään edellä tarkasteltuja ryhmiä, joiden pohjavesivaikutuksen suuruus on arvioitu vedenlaatuhavainnoista ja lammikon sijainnista virtauskentässä, seuraavassa läpivirtaus- ja läpivirtaamattomiksi lammikoiksi.

Yli puoleen aineiston läpivirtauslammikoista muodostui kesällä selvä lämpötilakerrostuneisuus, läpivirtaamattomiin vain yhteen. Pääselittäjänä on jälkimmäisen ryhmän lammikoiden mataluus, mutta osaselittäjiä ovat myös virtaukset, lammikon laajuus, muoto ja alttius tuulille. Jatkoraporteissa on ilmeisen tarpeellista tarkastella lammikkojen morfologiaan liittyviä seikkoja perusteellisesti.

Useimpia tutkimuksen pintavesistä voidaan luonnehtia pikemmin lammeiksi kuin lammikoksi jo koon ja suurimman syvyyden perusteella.

### 7.5.3 Lammikoiden veden laadusta ja tilasta

Tutkimuksen lammikot ovat yleiskuvaltaan sangen erilaisia karusta kirkasvetisestä lammeista matalaan ja rehevään lammikkoon. Yhtenä joukkona tarkasteltuna lammikot ovat keskimääräisesti kirkasvetisiä, lievästi happamia, vähän pääkasvinravinteita ja vähän orgaanisia aineksia sisältäviä sekä melko vähätuottoisia.

Silti vain noin neljäsosan happitilanne on kautta vuoden hyvä, muissa lammikoissa on eriasteisia happiongelmia aina hapettomuuteen saakka. Syitä huononpuoleiseen happitilanteeseen voivat olla muiden muassa pohjavesivaikutus, pieni vesitilavuus, suojaisuudesta johtuva pitkäaikainen ja pysyvä kerrostuneisuuskausi, pitkäaikainen jääpeite pienen vesitilavuuden ja suojaisuuden johdosta sekä mahdollinen muu perustuotanto kuin planktonin muodostama. Happitarkasteluun palataan jatkoraporteissa havaintoaineiston lisääntyä.

Hapenvajausta ja hapettomuutta seuraavat tunnetusti muun muassa raudan, mangaanin ja fosforin pitoisuuksien nousu pohjasedimentistä liukenemisen seurauksena. Lammikoissa voitiinkin havaita raudan ja mangaanin pitoisuuksien huomattava kohoaminen happitason laskiessa. Mangaanin pitoisuus oli pintavedeksi sangen korkea (koko aineiston keskiarvo 150  $\mu\text{g/l}$ ). Merkittävää on, että fosforitaso ei noussut. Yhtenä selityksenä saattaa olla lammikoiden iästä johtuva sedimenttien vähäisyys (sedimenttitutkimustarve!).

Vain muutamissa lammikoissa havaittiin ajoittain fekaalisten indikaattoribakteerien osoittamaa hygieenistä likaantumista, joka lieenee peräisin ympäristön asutuksesta tai maataloudesta. Sen sijaan yleisesti lammikoissa oli vähän tai ajoittain huomattavastikin koliformisia (35 °C) indikaattoribakteereita, jotka puolestaan ovat ilmeisesti peräisin ympäristön pintakerroksesta. Tämä on viite lammikoiden herkkyydestä pintahuuhtouman vaikutuksille. Ilmiön tarkempaa tarkastelua varten tarvittaisiin tämänhetkistä perusteellisempia lammikoiden ympäristön laatu- ja maankäyttötietoja.

Varsinaisten raskasmetallien mitatut pitoisuudet olivat lammikkovesissä suurimmillaankin pieniä, esimerkiksi lyijyn maksimipitoisuus 2,5  $\mu\text{g/l}$ , kadmiumin 0,7  $\mu\text{g/l}$  ja kromin 4,3  $\mu\text{g/l}$ .

Sangen suuretkin vedenlaatusuureiden vuodenaikaisvaihtelut ovat pintavesille normaaleja. Koko lammikkoaineistoon perustuen vähenevät loppukesään mennessä sähkönjohtavuus ja piihappopitoisuus puoleen talviarvosta, kokonaistyyppipitoisuus hieman vähemmän.

Lammikoiden veden pH nousee kesällä keskimäärin lähes yhden yksikön (mediaani 6,3 - 7,1) ja kokonaisfosforipitoisuus kaksinkertaiseksi. Orgaanista ainesta kuvaavien suureiden ( $\text{KMnO}_4$ -arvo, orgaaninen hiili ja klorofylli-a) arvot kasvavat perustuotannon kasvun myötä kesällä, karuissa lammikoissa vain vähän, mutta runsastuottoisissa kaksin-viisinkertaisesti. Samalla vähenevät fosforin ja etenkin typen liukoisten epäorgaanisten yhdisteiden pitoisuudet määritystarkkuuden alarajoille.

Pohjanläheisen veden suolojen pitoisuus on avovesikaudella yleensä korkeampi kuin tuottavan pintaveden. Avovesikauden koko aineiston perusteella sähkönjohtavuus oli pohjanläheisessä vesikerroksessa noin 40 % pintavettä suurempi. Merkittävästi tästä suuruusluokasta poikkesivat raudan (noin 9-kertaiseksi), mangaanin (noin 2,5-kertaiseksi) ja koboltin keskiarvopitoisuudet (taulukko 36).



Taulukko 36. Avovesikauden lammikkovesien keskimääräinen koostumus pinta- ja pohjanäytteissä vuonna 1985.

	Pintanäytteet		Pohjanäytteet	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Näytteitä yhteensä				
Vedenpinnan syvyys m	1,05	0,35	1,56	0,37
Väri, kenttä	0,37	0,00	0,49	0,00
Sameus, kenttä	0,29	0,00	0,43	0,00
Lämpötila C, kenttä	9,22	8,10	7,73	6,50
Happipitoisuus mg/l, kenttä	11,45	11,70	9,45	10,50
Happi kyll. %, kenttä	99,36	98,94	79,60	88,57
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l kenttä	9,60	5,00	14,85	6,00
pH, kenttä	6,89	6,80	6,83	6,70
Sähkönjoht. mS/m 25C, kenttä	10,15	8,30	13,79	12,30
Happipitoisuus mg/l	10,57	10,60	9,47	10,30
Happi kyll. %	94,01	97,70	82,26	93,02
Sameus FTU	5,75	2,00	5,31	2,85
Kiintoaine mg/l	4,65	2,40	5,49	3,40
Sähkönjoht. mS/m 25C	6,58	4,40	9,14	5,80
Alkaliniteetti mval/l	0,33	0,27	0,43	0,31
Asiditeetti mval/l	0,06	0,06	0,09	0,09
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l	5,08	2,40	13,01	5,00
Bikarbonaatti HCO <sub>3</sub> mg/l	20,06	16,47	25,97	18,91
pH	6,93	6,90	6,66	6,60
Väriluku Pt mg/l	15,89	15,00	23,29	15,00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	9,28	7,20	7,50	5,90
Kokonaistyyppi N mg/l	0,26	0,20	0,23	0,17
Nitriitti NO <sub>2</sub> mg/l	0,01	<0,01	0,01	<0,01
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0,11	0,02	0,11	0,04
Ammonium NH <sub>4</sub> mg/l	0,02	0,01	0,04	0,01
Fosfaatti PO <sub>4</sub> ug/l	6,91	3,00	9,93	6,00
Kokonaisfosfori P ug/l	17,60	13,00	16,95	14,50
Kloridi Cl mg/l	4,91	3,10	6,63	3,25
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	8,98	6,10	13,16	9,60
Fek. strept. kpl/100 ml	0,70	0,00	0,54	0,00
Koliform. 35C kpl/100 ml	50,26	6,00	8,22	2,00
Fek. kolif. 44C kpl/100 ml	1,14	0,00	0,74	0,00
Klorofylli mg/m	5,81	3,95		
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	4,85	4,10	6,47	5,50
Orgaaninen hiili C mg/l	3,12	2,40	3,19	2,20
Kalsium Ca mg/l	4,96	3,40	6,59	3,60
Magnesium Mg mg/l	2,03	1,35	2,46	1,20
Kokonaiskovuus dH	1,16	0,79	1,49	0,78
Natrium Na mg/l	4,09	3,10	6,11	3,80
Kalium K mg/l	1,47	1,15	1,76	1,20
Rauta Fe mg/l	0,07	<0,05	0,59	<0,05
Mangaani Mn mg/l	0,09	0,02	0,21	0,03
Sinkki Zn µg/l	21,33	<20,00	20,43	<20,00
Kupari Cu µg/l	2,23	1,70	1,82	1,50
Nikkeli Ni µg/l	1,24	0,70	1,90	0,90
Lyijy Pb µg/l	0,69	<0,50	0,66	<0,50
Kadmium Cd µg/l	0,13	<0,10	0,11	<0,10
Kromi Cr µg/l	0,58	<0,50	0,64	<0,50
Koboltti Co µg/l	0,77	<0,50	1,39	<0,50
Alumiini Al µg/l Suodatettu	27,89	16,00	21,78	19,00
Alumiini Al µg/l Suod.maton	132,93	50,00	143,74	68,00
Radon Rn Bq/l	1,00	1,00	2,18	2,00

Useimmat lammikot ovat vähäravinteisia. Vuoden koko aineiston kokonaistyyppipitoisuuden mediaaniarvo oli 210 ug/l ja kokonaisfosforin 12 ug/l. Vain muutama lammikko on runsasravinteinen. Merkille pantavaa on suhteellisen alhainen tyyppitaso, joka johtuu pohjaveden typen vähäisyydestä.

Monille sinilevälajeille, joiden joukossa on eri vedenkäyttömuodoille haitallisia ja jopa myrkyllisiä lajeja, vähätyypiset olosuhteet ovat edullinen kasvuympäristö, edellyttäen, että myös muut kasvutekijät ovat suotuisat.

Vaikka kasvuedellytysten ja tuotannon välillä on monisärmäinen riippuvuus, tarkastellaan seuraavassa pääkasvinravinteiden merkitystä lammikoissa suuresti yksinkertaistaen (katso kuva 186).

Lammikkovesien typen ja fosforin kokonais- ja liukoisten ravinteiden suhteiden suhde, tosin hieman puutteellisesta aineistosta laskettuna, osoittaa, että kevätnäytteissä typpi ja fosfori olivat yhtä usein ensisijaisena minimiravinteena tai olivat sitä molemmat samanaikaisesti. Loppukesällä typpi näytti olevan minimiravinne noin kahdessa kolmasosassa lammikoista. Minimiravinnelaskelman merkitystä korostaa liukoisten ravinteiden samanaikainen niukkuus pintavedessä.

Aineiston lineaarinen regressiolaskenta tukee edellä saatua tulosta typen ja tuotannon riippuvuudesta (taulukko 37).

Taulukko 37. Avovesikauden v. 1985 koko lammikkoaineiston pintanäytteiden klorofylli-a:n ja orgaanisen hiilen korrelaatiot eräisiin muihin pitoisuuksiin.

	Klorofylli-a			Orgaaninen hiili		
	arvo	P	näyte määrä	arvo	P	näyte määrä
KMnO <sub>4</sub> -luku	.5649	.000	59	.7498	.000	53
Kokonaistyyppi	.4139	.001	59	.5299	.000	53
Kokonaisfosfori	.2304	.045	55	.3677	.005	49
Klorofylli-a				.7021	.000	52
P	.05	korrelaatio merkitsevä 95 % todennäköisyydellä				
P	.01	korrelaatio merkitsevä 99 % todennäköisyydellä				
P	.001	korrelaatio merkitsevä 99,9 % todennäköisyydellä				

Lammikoiden kelpoisuutta eri käyttötarkoituksiin arvioitiin alustavasti vesihallinnon valmistelemien vedenlaadun luokitusluonnosten perusteella (Heinonen ym. 1985). Koska näin pienten vesistöjen luokittamiseen jo sinänsä on syytä suhtautua melkoisella varauksella ja koska yhden vuoden aineisto on luokitteluperustaksi vähäinen, luokittelutarkastelusta esitetään tässä raportissa vain yleisvaikutelma.

Tarkastelun mukaan pääosa lammikoista soveltuisi vain tyydyttävästi tai sitä huonommin raakavedeksi ja virkistyskäyttöön (taulukko 38).

Taulukko 38. Alustava arvio lammikoiden sijoittumisesta raakavesi- ja virkistyskäyttöluokkiin v. 1985.

Raakavesi	1km	Virkistyskäyttö	1km
erinomainen	-	erinomainen	-
hyvä	6	hyvä	5
tyyydyttävä	7	tyyydyttävä	7
huono	6	välttävä	8
sopimaton	1	huono	-
	<u>20</u>	sopimaton	<u>20</u>

Vesien sopivuutta raakavedeksi huonontavat merkittävimmin huonohkot happitilanteet ja niiden seuraukset, erityisesti korkeahkot mangaanipitoisuudet. Myös virkistyskäyttöarviossa happivajaukset ja lisäksi klorofyllipitoisuudet huonontavat tulosta.

Lammikoiden kelpoisuus uimavedeksi on parempi kuin edellä-oleva yleinen virkistyskäyttöarvio osoittaa.

#### 7.5.4 Lammikoiden alueellinen tarkastelu

Tutkimusalueiden lammikoiden vedenlaatu poikkeaa toisistaan huomattavasti (taulukko 39).

Taulukko 39. Lammikkovesien keskimääräinen koostumus Helsingin, Turun, Vaasan, Kokkolan ja Oulun vesi- ja ympäristöpiireissä.

	Hevy		Tuvy		Vavy		Kovy		Ouvy	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Näytteitä yhteensä										
Vedenpinnan syvyys m	0,29	0,31	3,85	3,45	0,44	0,31				
Väri, kenttä	1,50	1,50	0,10	0,00	0,11	0,00	0,67	1,00	0,29	0,00
Sameus, kenttä	1,37	1,00	0,13	0,00	0,11	0,00	0,40	0,00	0,12	0,00
Lämpötila C, kenttä	6,69	4,50	7,10	4,40	8,02	5,35	6,78	4,00	7,92	8,90
Happipitoisuus mg/l, kenttä	9,24	10,00	7,98	8,40	7,95	8,55	10,77	11,50	11,48	13,00
Happi kyll. %, kenttä	76,72	88,57	59,78	62,99	64,99	68,88	90,67	94,49	99,87	102,54
Hilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l kenttä	24,78	20,00	11,32	6,00	12,76	6,00	15,33	10,00	11,63	9,00
pH, kenttä	6,54	6,60	6,32	6,30	7,11	7,30	7,17	7,60	6,71	7,00
Sähkönjoht. mS/m 25C, kenttä	13,74	10,30	13,95	14,60	9,99	6,55	5,62	5,35	3,65	4,10
Happipitoisuus mg/l	7,75	8,90	10,11	11,05	9,51	10,00	10,01	10,10	9,18	9,20
Happi kyll. %	64,68	74,15	87,64	96,02	83,63	92,08	84,93	96,90	79,35	86,39
Sameus FTU	12,98	4,60	3,48	2,10	2,23	1,15			2,41	1,90
Kiintoaine mg/l	8,45	3,00	2,84	2,90	3,10	1,55	6,12	2,40	2,12	1,60
Sähkönjoht. mS/m 25C	13,64	10,30	12,14	11,60	4,94	4,20	4,34	3,20	3,91	4,10
Alkaliniteetti mval/l	0,71	0,63	0,47	0,36	0,24	0,20	0,30	0,30	0,20	0,22
Asiditeetti mval/l			0,08	0,09					0,05	0,04
Hilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l	20,43	8,00	12,11	4,75	8,19	3,65	7,51	5,50	8,10	1,80
Bikarbonaatti HCO <sub>3</sub> mg/l	43,50	38,43	28,72	21,96	14,91	11,90	18,20	18,30	12,01	13,42
pH	6,88	6,90	6,81	6,60	6,47	6,50	6,69	6,90	6,65	6,70
Väriluku Pt mg/l	30,00	17,50	14,73	15,00	12,53	10,00			21,32	20,00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	15,78	13,70	5,82	5,90	5,83	5,20	10,07	5,90	7,98	4,40
Kokonaistyyppi N mg/l	0,46	0,40	0,24	0,25	0,19	0,14	0,23	0,15	0,18	0,12
Nitriitti NO <sub>2</sub> mg/l	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,00	0,01	<0,01
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0,36	0,28	0,29	0,09	0,10	0,04	0,19	0,00	0,08	0,03
Ammonium NH <sub>4</sub> mg/l	0,11	0,08	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	<0,01
Fosfaatti PO <sub>4</sub> µg/l	16,30	9,00	6,19	6,00	10,47	6,00	3,63	1,00	5,65	4,00
Kokonaisfosfori P µg/l	21,83	14,00	12,92	13,00	13,26	11,00	16,07	20,00	16,41	11,00
Kloridi Cl mg/l	10,91	7,00	10,41	8,40	2,43	1,80	3,49	3,90	1,72	1,60
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	14,62	12,00	17,21	19,60	10,30	8,00	3,25	3,60	4,83	4,80
Fek. strept. kpl/100 ml	0,35	0,00	0,86	0,00	0,18	0,00	1,29	0,00	0,41	0,00
Koliform. 35C kpl/100 ml	13,00	0,00	4,96	2,00	8,44	2,50	98,06	61,00	72,07	13,00
Fek. kolif. 44C kpl/100 ml	0,52	0,00	2,42	0,00	0,15	0,00	0,12	0,00	0,89	0,00
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	8,03	3,20	3,96	3,00	3,26	2,55	7,08	6,10	4,12	3,00
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	6,31	3,80	5,50	5,55	7,96	8,55	4,31	4,60	5,51	5,60
Orgaaninen hiili C mg/l	6,82	6,05	2,27	2,20	2,12	1,60	2,60	2,20	2,88	2,10
Kalsium Ca mg/l	11,45	9,10	8,33	8,10	3,71	3,10	3,33	2,90	2,05	2,00
Magnesium Mg mg/l	3,30	2,70	3,66	3,50	1,48	0,63	1,99	2,30	0,87	0,92
Kokonaiskovuus dH	2,36	1,94	2,01	1,95	0,86	0,58	0,92	0,89	0,49	0,51
Natrium Na mg/l	5,83	4,30	7,08	6,20	5,60	4,00	2,42	2,10	2,71	2,80
Kalium K mg/l	1,85	1,70	1,54	1,70	2,03	0,90	1,54	1,60	0,70	0,70
Rauta Fe mg/l	1,16	0,07	0,10	<0,05	0,06	<0,05	0,05	<0,05	0,12	0,08
Mangaani Mn mg/l	0,52	0,06	0,05	<0,02	0,08	0,02	0,10	0,02	0,06	0,04
Sinkki Zn µg/l	25,65	<20,00	20,56	20,00	20,91	<20,00	21,58	<20,00	23,68	20,00
Kupari Cu µg/l	3,85	2,70	1,65	1,40	2,70	1,80	1,75	1,50	1,76	1,60
Nikkeli Ni µg/l	1,13	0,90	1,08	0,90	3,61	1,70	0,62	0,50	1,08	0,80
Lyijy Pb µg/l	0,68	<0,50	0,54	<0,50	0,71	<0,50	0,72	0,50	0,82	0,60
Kadmium Cd µg/l	0,10	<0,10	0,16	<0,10	0,12	<0,10	0,12	<0,10	0,16	<0,10
Kromi Cr µg/l	0,75	0,50	0,50	<0,50	0,62	<0,50	0,51	<0,50	0,68	0,50
Koboltti Co µg/l	1,78	<0,50	0,62	<0,50	1,44	0,50	0,51	<0,50	1,15	<0,50
Alumiini Al µg/l Suodatettu	37,42	23,50	37,19	26,50	10,68	9,20	17,01	16,00	10,68	6,70
Alumiini Al µg/l Suod.maton	324,25	78,00	122,10	88,00	74,41	37,00	112,58	23,50	27,69	19,00
Radon Rn Bq/l	1,60	1,00	2,23	1,00	1,20	1,00	2,33	1,00	1,75	1,50

Näytteiden lukumäärä

23

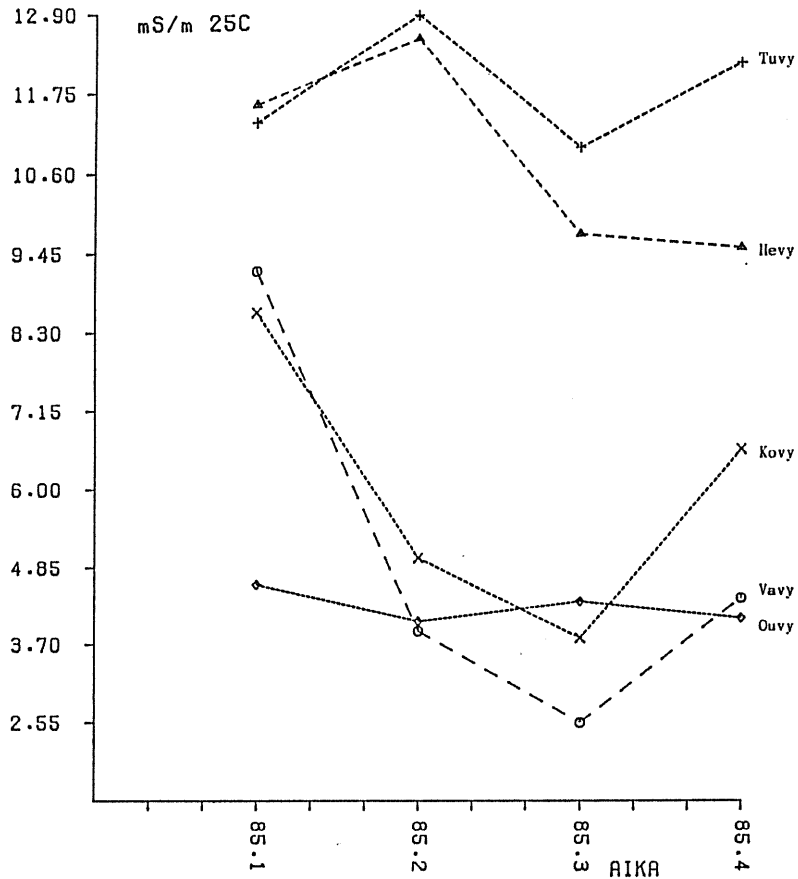
40

34

19

19

Elektrolyyttien määrä eteläisten piirien (Hevy ja Tuvy) lammikoissa on selvästi suurempi kuin Pohjanmaalla (Vavy, Kovy ja Ouvy). Sähkönjohtavuus ja kokonaiskovuus ovat etelässä yli kaksinkertaisia pohjoisempien alueiden arvoihin verrattuna (kuva 187).



Kuva 187. Helsingin, Turun, Vaasan, Kokkolan ja Oulun vesi- ja ympäristöpiirien projektiluokkaan 3.4 (laajamittainen pohjavedenpinnan alapuolinen soranotto päättynyt) kuuluvien lammikkovesien sähkönjohtavuuden mediaaniarvot vuonna 1985.

Yleensä samansuuntaiset ovat niiden yksittäisten aineiden erot, joista edellämainitut suureet muodostuvat.

Yllä kuvattu Etelä- ja Lounais-Suomen ja Pohjanmaan vesien ero on näiden alueiden muittenkin pintavesien ominainen piirre.

Lammikoiden happamuuserot olivat eri alueiden välillä havaittavia, mutteivät suuria. Alueiden lammikoiden veden pH:n mediaaniarvo oli pienin Vaasan alueella (6,5) ja korkein Helsingin ja Kokkolan alueilla (6,9). Vaasan lammikoissa havaittu koko aineiston lammikkoveden happamuusminimi oli 5,7.

Alhaisimmat alkaliniteetin arvot esiintyivät Oulun alueella Jäälissä (0,04 ja 0,08 mval/l). Muiden alueiden arvot olivat vähintään kohtalaisia (mediaaniarvo >0,20 mval/l) ja yleistä pintavesitasoa, koko maan painotettua keskiarvoa 0,16 mval/l (Forsius, 1987) korkeampia.

Lammikoiden veden typpipitoisuus on alhainen erityisesti Pohjanmaalla, mutta myös Lounais-Suomen syvissä lammikoissa. Fosforipitoisuuksissa ei sen sijaan erotu selviä alueellisia eroja, vaan erot johtunevat pikemmin lammikkokohtaisista ominaispiirteistä. Lammikoita, joissa ensisijaisesti typpi näyttää rajoittavan loppukesällä perustuotantoa, on etenkin Vaasan ja Turun alueilla. Samojen alueiden lammikoiden perustuotantoarvot ovat alhaisimmat (kasvukauden klorofylli-a:n keskiarvot Vavy 3,6 ja Tuvy 4,3 mg/m<sup>3</sup>).

Vaikka vedenlaatuluokittelun mukaisesti arvioituina aineiston sopivimmat lammikot virkistyskäyttöön ja raakavesilähteeksi sijaitsevat Turun alueella, määräävänä tekijänä ei ole maantieteellinen sijainti, vaan yksittäisen lammikon ja sen ympäristötekijöiden ominaisuudet.

#### 7.5.5 Läpivirtauksen vaikutus lammikon vedenlaatuun

Pohjaveden virtauksen voimakkuus, läpivirtaus, lammikossa on sen veden laatuun vaikuttava merkittävä tekijä. Edellä on jo viitattu lammikon sijainnin ja syvyyden merkitykseen läpivirtauksen muodostumisessa.

Varsinaisen aineiston kahdestakymmenestä lammikosta kymmenen on läpivirtauslammikoita, kymmenen ei-virtaavia. Läpivirtaamattomat lammikot ovat yleensä matalia. Tämän ryhmän kymmenestä lammikosta seitsemän suurin syvyys on alle neljä metriä. Läpivirtausryhmän lammikoista vain yhden suurin syvyys on alle neljä metriä.

Osa läpivirtaavien ja läpivirtaamattomien lammikoiden vedenlaadun eroista selittyy syvyyseroista ja myös siihen liittyvästä lämpötilakerrostuneisuudesta. Valtaosa eroista voidaan kuitenkin lukea näiden kahden ryhmän ominaiseroiksi, joka on pohjavesivaikutuksen suuruusero. Läpivirtaamattomat lammikot ovatkin ominaisuuksiltaan lähellä tavallisia pintavesiesiintymiä.

Läpivirtauslammikoiden piihappopitoisuus, sähkönjohtavuus ja kokonaiskovuus olivat koko aineiston perusteella merkittävästi korkeampia kuin läpivirtaamattomien lammikoiden, myös alkaliniteetti oli hieman suurempi (taulukko 40).

Taulukko 40. Läpivirtaavien ja läpivirtaamattomien lammikoiden vedenlaatutiedot.

	Läpivirtaamattomat lammikot		Läpivirtaavat lammikot	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Näytteitä yhteensä				
Vedenpinnan syvyys m	1,23	0,22	1,32	0,63
Väri, kenttä	0,48	0,00	0,38	0,00
Sameus, kenttä	0,34	0,00	0,36	0,00
Lämpötila C, kenttä	7,51	4,40	7,17	5,20
Happipitoisuus mg/l, kenttä	10,12	10,40	9,12	9,25
Happi kyll. %, kenttä	84,89	89,55	75,34	81,35
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l kenttä	10,85	6,00	18,35	15,00
pH, kenttä	6,83	6,80	6,75	6,60
Sähkönjoht. mS/m 25C, kenttä	8,70	8,25	13,75	14,55
Happipitoisuus mg/l	9,42	10,00	9,37	10,05
Happi kyll. %	81,76	92,01	80,28	91,57
Sameus FTU	2,57	1,80	6,48	2,85
Kiintoaine mg/l	3,35	1,50	4,93	2,80
Sähkönjoht. mS/m 25C	5,88	4,60	10,22	8,25
Alkaliniteetti mval/l	0,30	0,26	0,47	0,34
Asiditeetti mval/l	0,05	0,04	0,08	0,09
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l	7,83	2,80	14,53	5,50
Bikarbonaatti HCO <sub>3</sub> mg/l	18,34	15,86	28,67	21,05
pH	6,74	6,70	6,65	6,55
Väriluku Pt mg/l	12,54	10,00	22,11	15,00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	11,36	7,90	5,93	4,65
Kokonaistyyppi N mg/l	0,33	0,27	0,19	0,13
Nitriitti NO <sub>2</sub> mg/l	0,01	<0,01	0,01	<0,01
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0,27	0,17	0,16	0,02
Ammonium NH <sub>4</sub> mg/l	0,05	0,02	0,03	0,01
Fosfaatti PO <sub>4</sub> ug/l	6,19	4,00	10,81	6,00
Kokonaisfosfori P ug/l	15,59	14,00	15,42	12,00
Kloridi Cl mg/l	3,69	3,40	8,29	4,40
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	8,19	6,95	13,84	13,50
Fek. strept. kpl/100 ml	0,49	0,00	0,59	0,00
Koliform. 35C kpl/100 ml	40,52	4,00	18,73	3,00
Fek. kolif. 44C kpl/100 ml	0,55	0,00	1,08	0,00
Klorofylli mg/m	6,70	3,85	3,40	2,55
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	3,32	2,40	8,64	8,80
Orgaaninen hiili C mg/l	3,97	2,90	2,34	1,80
Kalsium Ca mg/l	4,51	3,55	7,47	5,30
Magnesium Mg mg/l	1,87	1,15	2,86	3,30
Kokonaiskovuus dH	1,06	0,77	1,71	1,57
Natrium Na mg/l	3,60	2,95	6,58	5,75
Kalium K mg/l	1,28	0,95	1,88	1,60
Rauta Fe mg/l	0,07	<0,05	0,46	<0,05
Mangaani Mn mg/l	0,09	0,02	0,20	0,03
Sinkki Zn µg/l	23,55	<20,00	20,88	<20,00
Kupari Cu µg/l	2,48	1,80	2,21	1,50
Nikkeli Ni µg/l	1,96	0,55	1,39	1,10
Lyijy Pb µg/l	0,75	<0,50	0,61	<0,50
Kadmium Cd µg/l	0,12	<0,10	0,15	<0,10
Kromi Cr µg/l	0,57	<0,50	0,63	<0,50
Koboltti Co µg/l	0,81	<0,50	1,35	<0,50
Alumiini Al µg/l Suodatettu	20,00	18,00	26,77	16,00
Alumiini Al µg/l Suod.maton	73,92	48,50	178,12	72,00
Radon Rn Bq/l	1,15	1,00	2,47	2,00

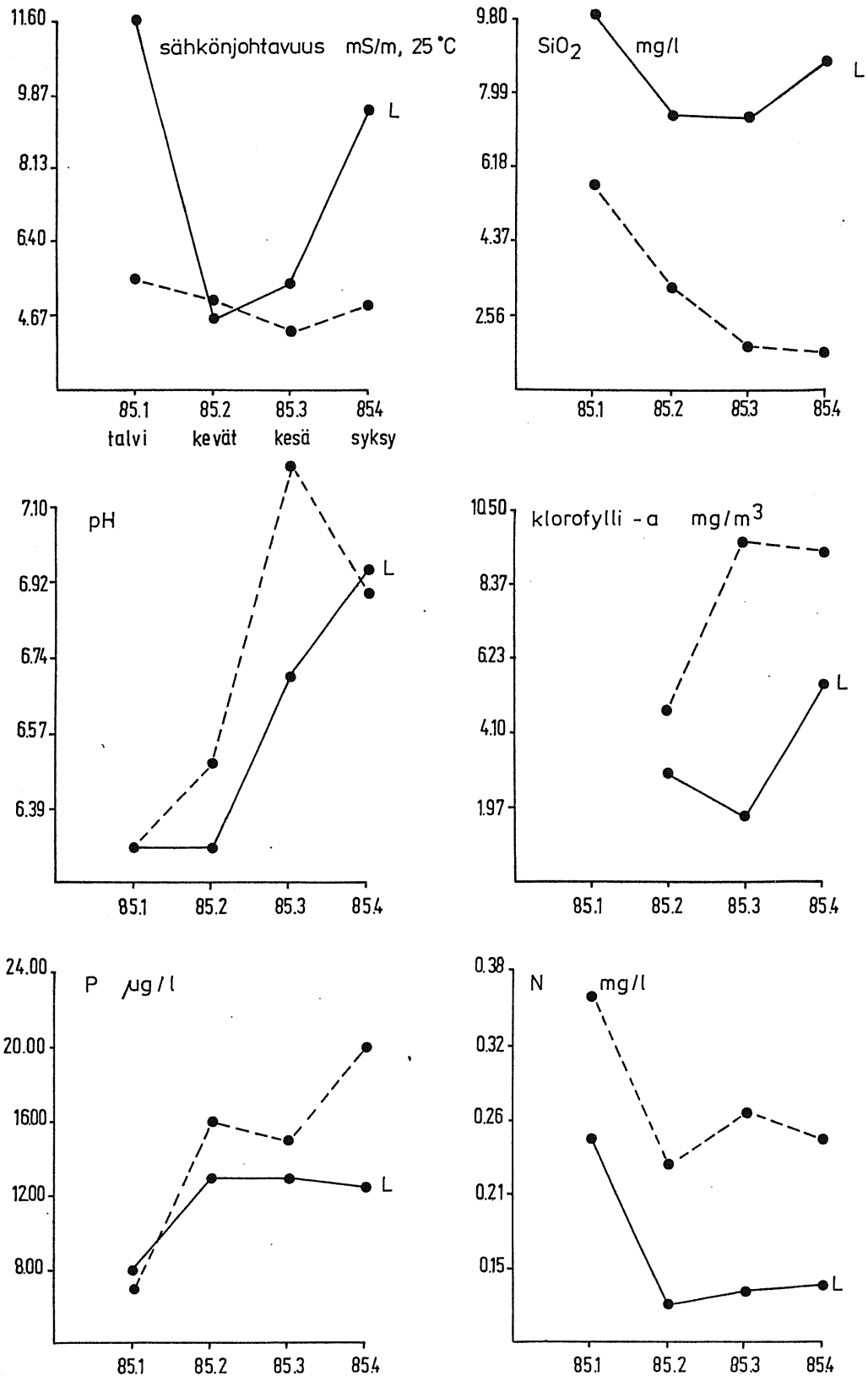
Kokonaisfosforin pitoisuus oli läpivirtaamattomissa lammikoissa vain hieman suurempi kuin läpivirtauslammikoissa. Sen sijaan typpipitoisuus oli kaksinkertainen, samoin orgaanisen hiilen ja klorofylli-a:n pitoisuus. Ryhmien välinen rehevyys-ero oli siis sangen selvä.

Läpivirtaamattomat lammikot näyttävät olevan herkempiä ympäristötekijöille (pintavaluman vaihtelut, likaantuminen) kuin läpivirtauslammikot. Tämä ja pieni vesitilavuus aiheuttavat huomattavia vaihteluita lammikon tilaan. Vaikka läpivirtaamattomat lammikot ovat ryhmän selvästi rehevämpiä kuin läpivirtauslammikot, joukkoon kuuluu myös karuja lampia. Tämän ryhmän lammikoiden tilan vaihteluiden ja ympäristötekijöiden riippuvuuksien jatkoselvittelytarve on ilmeinen.

Metallien pitoisuudet olivat valtaosaltaan samaa luokkaa eli pieniä molemmissa ryhmissä. Muista poikkeavia rauta-, mangaani- ja kobolttihavaintoja on tarkasteltu jo edellä.

Läpivirtauslammikoiden pohjavesimäisyys on voimakkaimmillaan talvella muuttuen pintavesimäisemmäksi kesällä (kuva 188).





Kuva 188. Läpivirtaavien (L) ja läpivirtaamattomien lammikoiden veden sähköjohtavuuden, piihappopitoisuuden, klorofyllimäärän, pH:n, fosfori- ja typpipitoisuuden mediaania-arvot.

Läpivirtaus- ja läpivirtaamattoman ryhmän vedenlaatutekijöiden vuodenaikaisvaihtelu on kuitenkin sangen samansuuntainen, mutta ryhmien väliset tasoerot, etenkin tuotantoa kuvaavissa suureissa, ovat selvät.

Vedenlaatuluokittelun mukaan arvioituna läpivirtauslammikot olivat hieman sopivampia virkistyskäyttöön kuin läpivirtaamattomat. Raakavesilähteinä ryhmät olisivat lähes samanarvoisia.

#### 7.5.6 Lammikkoveden ja muodostuman pohjaveden vuorovaikutus

Lammikoiden ja pohjaveden vuorovaikutusta käsitellään lammikoiden ja niiden läheisyydessä olevien vedenottamoiden vedenlaatua vertailemalla. Lammikoiden viereen asennetuista putkista saatu aineisto käsitellään seuraavassa raportissa.

Harjun kiviaineksen, raesuuruuden, kerrosjärjestyksen ja pohjaveden gradientin sekä ottamoista pumpattavan vesimäärän merkitystä lammikon ja pohjaveden vuorovaikutuksessa käsitellään jatkotutkimuksissa. Jatkossa pyritään myös selvittämään missä kerroksessa ja millä nopeudella pohjavesi lammikossa liikkuu.

##### 7.5.6.1 Läpivirtauslammikko

Harjussa, jossa soranoton aiheuttama lammikko on pohjaveden päävirtauskentässä on lammikolla ja muodostuman pohjavedellä selvä vuorovaikutus.

Läpivirtauslammikoissa ja niiden alavirran puolella olevissa ottamoissa on veden elektrolyyttipitoisuus melko korkea.

Lammikoiden ja ottamoiden vedenlaatu on hyvin samanlainen (taulukko 41). Aineisto perustuu 10 lammikkoon ja 5 ottamoon. Samankaltaisuus näkyy erityisesti verrattaessa ottamoiden vedenlaatua lammikoiden pohjanäytteisiin. Avoveden aikana lammikoiden lämpötilakerrostuneisuus ja ilmeisesti pohjalla tapahtuva pohjaveden läpivirtaus estävät veden sekoittumisen ja pinta- ja pohjanäyte eroavat paljon toisistaan.

Pohjaveden vaikutus lammikkoon näkyy tilastoaineiston perusteella lisääntyvinä pohjaveden ominaisuuksina läheltä pohjaa otetuissa näytteissä. Sähkönjohtavuusarvo, piihappo-, hiili-dioksidi-, kloridi-, sulfaatti-, bikarbonaatti-, magnesium-, kalsium-, natrium- ja kaliumpitoisuudet nousevat. Samanaikaisesti vähenevät pH ja happipitoisuus. Hapen vajoaus aiheuttaa rauta-, mangaani-, nikkeli- ja kobolttipitoisuuden nousun, mikä näkyy keskiarvoluvuissa.

Tilastoaineiston (taulukko 41) perusteella näkyy ottamoiden vedessä lammikoiden vaikutus lämpötilan, happipitoisuuden ja pH:n nousuna sekä piihappo-, rauta-, mangaani- ja nikkeli-pitoisuuden laskuna. Vaikutukset voivat olla hyvin selvät, esim. Haaruskankaalla vanhan vedenottamon vedessä nousi lämpötila kesällä 15,9 °C:een ja sähkönjohtavuusarvo ja piihappopitoisuus laski puoleen.

Taulukko 41. Läpivirtauslammikoiden pinta- ja pohjanäytteiden sekä lammikoiden viereisten vedenottamoiden vesinäytteiden keskimääräinen koostumus.

	Läpivirtauslammikot Pintanäytteet		Läpivirtauslammikot Pohjanäytteet		Läpivirtauslammikoi- den viereiset veden- ottamot	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Näytteitä yhteensä						
Vedenpinnan syvyys m	1,17	0,56	1,48	0,70	3,36	3,47
Väri, kenttä	0,31	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00
Sameus, kenttä	0,31	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00
Lämpötila C, kenttä	7,98	5,10	6,24	5,75	6,84	6,00
Happipitoisuus mg/l, kenttä	10,06	9,40	7,82	9,10	6,30	6,30
Happi kyll. %, kenttä	84,56	92,24	62,65	75,46	51,24	52,25
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l kenttä	15,15	9,50	22,10	19,00	42,65	26,50
pH, kenttä	6,74	6,50	6,76	6,70	6,36	6,35
Sähkönjoht. mS/m 25C, kenttä	12,36	10,45	15,37	14,65	18,56	16,35
Happipitoisuus mg/l	10,12	10,20	8,52	10,00	6,06	6,50
Happi kyll. %	88,44	95,27	71,14	84,80	51,05	57,15
Sameus FTU	6,95	2,10	6,02	3,70	1,19	0,55
Kiintoaine mg/l	4,59	1,80	5,29	3,70	0,82	0,15
Sähkönjoht. mS/m 25C	8,78	5,30	11,38	11,40	13,66	12,15
Alkaliniteetti mval/l	0,40	0,29	0,55	0,36	0,63	0,51
Asiditeetti mval/l	0,07	0,07	0,09	0,09	0,28	0,28
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l	8,75	3,50	21,02	13,00	30,79	17,95
Bikarbonaatti HCO <sub>3</sub> mg/l	24,15	17,69	33,73	21,96	38,55	31,11
pH	6,81	6,90	6,48	6,50	6,35	6,35
Väriluku Pt mg/l	16,55	15,00	27,67	15,00	6,25	5,00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	5,74	4,70	6,14	4,50	4,86	3,60
Kokonaistyyppi N mg/l	0,19	0,13	0,18	0,14	0,21	0,18
Nitriitti NO <sub>2</sub> mg/l	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0,15	0,02	0,16	0,01	0,52	0,47
Ammonium NH <sub>4</sub> mg/l	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Fosfaatti PO <sub>4</sub> µg/l	9,94	6,00	11,77	7,00	15,09	13,00
Kokonaisfosfori P µg/l	14,61	10,50	16,30	13,00	7,42	7,00
Kloridi Cl mg/l	7,05	3,80	9,70	6,50	12,43	7,00
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	11,58	10,00	16,38	18,80	18,88	21,00
Fek. strept. kpl/100 ml	0,47	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00
Koliform. 35C kpl/100 ml	28,16	3,50	7,56	2,00	31,88	0,00
Fek. kolif. 44C kpl/100 ml	1,12	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	3,49	2,55				
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	8,07	7,50	9,30	9,25	10,60	10,00
Orgaaninen hiili C mg/l	2,23	1,70	2,47	1,90	1,33	0,90
Kalsium Ca mg/l	6,59	4,60	8,54	7,90	10,74	7,85
Magnesium Mg mg/l	2,52	2,60	3,28	3,50	4,27	4,25
Kokonaiskovuus dH	1,50	1,34	1,95	1,95	2,48	2,08
Natrium Na mg/l	5,46	3,60	7,91	6,40	7,89	6,60
Kalium K mg/l	1,63	1,60	2,18	1,70	2,00	2,00
Rauta Fe mg/l	0,08	<0,05	0,91	<0,05	0,21	0,06
Mangaani Mn mg/l	0,11	0,02	0,31	0,04	0,12	<0,02
Sinkki Zn µg/l	20,27	<20,00	21,61	20,00	23,50	<20,00
Kupari Cu µg/l	2,39	1,70	2,00	1,40	2,24	2,10
Nikkeli Ni µg/l	1,29	1,00	1,52	1,30	3,68	1,15
Lyijy Pb µg/l	0,61	<0,50	0,61	<0,50	0,76	0,50
Kadmium Cd µg/l	0,15	<0,10	0,14	<0,10	0,12	<0,10
Kromi Cr µg/l	0,65	<0,50	0,60	<0,50	0,53	<0,50
Koboltti Co µg/l	0,94	<0,50	1,83	<0,50	0,91	<0,50
Alumiini Al µg/l Suodatettu	30,26	15,00	22,61	19,00	43,29	17,50
Alumiini Al µg/l Suod.maton	174,35	41,00	182,43	94,00	44,89	20,00
Radon Rn Bq/l	5,00	5,00	2,31	2,00	30,50	20,00

Näytteiden lukumäärä

37

33

20

Lammikon sijaitessa pohjaveden päävirtauskentässä näyttää sen vedenlaatu pysyvän parempana, kuin läpivirtaamattomissa olosuhteissa pohjalla, tapahtuvan virtauksen ansiosta. Vaikka lammikoilla oli selvästi havaittavia vaikutuksia ottamoiden vedenlaatuun, niiden merkitys veden käyttökelpoisuuteen oli lievä. (Poikkeus Haaruskangas).

Ongelmana on kuitenkin tilanne, jossa lammikkoon pääsee lika-aineita. Tällöin likaantuu myös alapuolisen ottamon vesi lähes samanaikaisesti.

#### 7.5.6.2 Ei läpivirtauslammikko

Harjussa, jossa soranoton aiheuttama lammikko on sivussa pohjaveden päävirtauskentästä, ei tilastoaineiston perusteella lammikon ja muodostuman pohjavedellä näy selvää vuorovaikutusta.

Tilastoaineisto perustuu 10 ei läpivirtauslammikkoon ja 4 vedenottamoon, jotka sijaitsevat lammikoiden läheisyydessä alavirran puolella. Aineisto jakaantuu kaikkien tutkimuksessa mukana olevien piirien alueille (taulukko 42).

Ei läpivirtauslammikoiden ja niiden alavirran puolella olevien ottamoiden veden kokonaiselektrolyyttipitoisuudet ovat pieniä. Ottamovesien ja lammikkovesien keskinäinen sähkönjohtavuusarvojen kerroin on kuitenkin samansuuruinen kuin läpivirtaavissa olosuhteissa, kertoimet ovat 1,6 ja 1,5.

Ei läpivirtauslammikoissa on pinnalla ja pohjalla oleva vesi hyvin samanlainen: lämpötila- ja kemiallista kerrostuneisuutta ei juuri ole.

Lammikoissa ei selvästi näy pohjaveden vaikutuksen lisääntymistä pohjalla. Sähkönjohtavuusarvot nousevat vain vähän (lähinnä sulfaatti- ja natriumpitoisuudet), mutta piihappopitoisuus ei nouse pohjalla. Veden ravinteisuus on suurempi kuin läpivirtausolosuhteissa (vrt. 7.5.6.1). Orgaanisen aineksen hajoaminen aiheuttaa hapen vähenemistä pohjalta ja mangaani- ja nikkelpitoisuudet nousevat hieman.

Tilastoaineiston perusteella ei läpivirtaamattoman lammikon vaikutus näy merkittävästi vedenottamon vedenlaadussa. Näistä ottamoista on kuitenkin kaksi (Haaruskangas, Kolina) sellaisia, joissa lammikon vaikutuksen voi kuitenkin havaita, lämpötila nousee ja sähkönjohtavuusarvot pienenevät kesällä. Kahden vedenottamon (Fira, Hietakangas) vedenlaadussa ei sitä vastoin voi nähdä lammikon vaikutusta.

Lammikon sijaitessa pohjaveden päävirtauskentän sivussa ei siinä tapahdu merkittävää veden vaihtumista eikä sen aiheuttamaa yleensä positiivista vaikutusta.

Läpivirtaamaton lammikko joko vaikuttaa muodostuman pohjaveteen jonkin verran tai ei ollenkaan. Tämä riippuu ilmeisesti ottamon pumppauksen määrästä, raesuuruudesta sekä ottamon ja lammikon sijainnista. Näiden seikkojen selvittelyyn paneudutaan jatkotutkimuksissa.

Taulukko 42. Ei läpivirtauslammikoiden pinta- ja pohjanäytteiden sekä lammikoiden viereisten vedenottamoiden vesinäytteiden keskimääräinen koostumus.

	Ei läpivirtaavan lammikon pintanäytteet		Ei läpivirtaavan lammikon pohjanäytteet		Ei läpivirtaavan lammikon viereiset vedenottamot	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Näytteitä yhteensä						
Vedenpinnan syvyys m	0,84	0,21	1,67	0,27	4,09	3,80
Väri, kenttä	0,43	0,00	0,55	0,00	0,09	0,00
Sameus, kenttä	0,27	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00
Lämpötila C, kenttä	7,41	4,00	7,66	4,50	6,45	5,70
Happipitoisuus mg/l, kenttä	10,85	11,50	8,86	9,80	7,06	7,30
Happi, kyll. %, kenttä	91,13	94,49	74,15	80,56	58,79	62,54
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l, kenttä	10,39	10,00	11,57	6,00	35,08	30,00
pH, kenttä	6,81	6,80	6,87	6,80	6,43	6,40
Sähkönjoht. mS/m 25C, kenttä	7,49	8,15	10,32	9,25	13,26	13,10
Happipitoisuus mg/l	9,84	10,00	8,78	10,05	4,79	4,70
Happi kyll. %	84,49	92,76	77,56	89,66	40,18	40,36
Sameus FTU	2,44	1,70	2,74	2,00	1,78	1,40
Kiintoaine mg/l	3,32	1,65	3,39	1,20	2,11	0,30
Sähkönjoht. mS/m 25C	5,47	4,40	6,48	5,40	9,07	7,30
Alkaliniteetti mval/l	0,29	0,26	0,32	0,24	0,43	0,46
Asiditeetti mval/l	0,05	0,04				
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l	7,34	2,35	8,54	4,30	27,23	17,60
Bikarbonaatti HCO <sub>3</sub> mg/l	17,66	15,86	19,35	14,64	26,11	28,06
pH	6,80	6,70	6,66	6,60	6,19	6,10
Väriluku Pt mg/l	13,40	15,00	11,52	5,00	18,00	10,00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	12,46	8,90	9,74	6,60	6,11	4,00
Kokonaistyyppi N mg/l	0,34	0,27	0,33	0,27	0,20	0,16
Nitriitti NO <sub>2</sub> mg/l	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	0,23	0,13	0,31	0,27	0,52	0,57
Ammonium NH <sub>4</sub> mg/l	0,04	0,01	0,06	0,02	0,02	0,01
Fosfaatti P <sub>04</sub> µg/l	4,89	3,00	8,41	5,50	21,77	12,00
Kokonaisfosfori P µg/l	17,24	14,00	13,25	13,00	13,69	12,00
Kloridi Cl mg/l	3,57	3,40	3,88	3,45	5,93	3,10
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	7,34	5,30	9,46	7,70	14,73	6,10
Fek. strept. kpl/100 ml	0,74	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Koliform. 35C kpl/100 ml	56,03	8,00	16,14	1,00	0,73	0,00
Fek. kolif. 44C kpl/100 ml	0,83	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Klorofylli mg/m	6,70	3,85				
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	3,04	2,40	3,72	2,60	12,42	12,20
Orgaaninen hiili C mg/l	4,03	3,10	3,90	2,80	2,55	1,80
Kalsium Ca mg/l	4,13	3,40	5,06	3,60	6,67	5,70
Magnesium Mg mg/l	1,88	1,60	1,86	1,10	2,96	1,80
Kokonaiskovuus dH	1,01	0,87	1,14	0,76	1,61	1,21
Natrium Na mg/l	3,20	2,80	4,20	3,40	5,94	4,80
Kalium K mg/l	1,34	1,20	1,20	0,90	1,80	1,80
Rauta Fe mg/l	0,06	<0,05	0,07	<0,05	0,37	0,15
Mangaani Mn mg/l	0,08	0,02	0,11	0,02	0,05	0,03
Sinkki Zn µg/l	25,14	<20,00	21,20	<20,00	25,33	<20,00
Kupari Cu µg/l	2,42	1,80	2,56	1,80	2,77	2,30
Nikkeli Ni µg/l	1,49	0,60	2,65	0,50	3,25	0,70
Lyijy Pb µg/l	0,78	<0,50	0,70	<0,50	0,55	<0,50
Kadmium Cd µg/l	0,14	<0,10	0,11	<0,10	0,11	<0,10
Kromi Cr µg/l	0,52	<0,50	0,66	<0,50	0,60	<0,50
Koboltti Co µg/l	0,69	<0,50	0,99	<0,50	1,90	0,50
Alumiini Al µg/l Suodatettu	19,41	17,00	20,85	20,00	21,21	20,00
Alumiini Al µg/l Suod.maton	70,44	47,50	79,50	49,50	54,63	27,00
Radon Rn Bq/l	1,00	1,00	1,20	1,00	40,25	35,00

Näytteiden lukumäärä

37

25

15

Läpivirtausominaisuus on etu lammikon tilalle ja haitta ottamolle. Läpivirtauslammikossa lammikon tilan huononeminen on vähäisempää kuin läpivirtaamattomassa tai ainakin ohimenevä ilmiö. Ottamon vedenlaadun heikkenemisen riski on kuitenkin ilmeinen. Läpivirtaamattomassa lammikossa likaantumisen vaikutus näkyy vain itse lammikon tilan huononemisena.

#### 7.5.7 Esimerkkejä heikkotilaisista lammikoista

Aineistosta on poimittu erilleen 6 lammikkoa, joissa soranoton yhteydessä, sen suoranaaisena seurauksena tai välillisenä seurauksena on havaittavissa vedenlaadun selvä pilaantuminen.

Taulukkoon 43 on kerätty kaikkien näiden lammikoiden pintanäytteiden ja pohjanäytteiden vedenlaatutiedot. Pinta- ja pohjanäytteet eroavat selvästi toisistaan. Pohjan vesi on hapetonta, hapanta ja erityisesti  $\text{SO}_4$ , Ca, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co ja Al pitoisuudet ovat nousseet jopa monikymmenkertaisiksi. Samalla on puskurikapasiteetti hävinnyt kokonaan.

Taulukko 43. Heikkotilaisten lammikoiden (Ruskeasannan, Pensalankankaan ja Ekokankaan alueen lammikot) keskimääräinen pinta- ja pohjanäytteiden koostumus.

Näytteitä yhteensä	Pintanäytteet		Pohjanäytteet	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
Vedenpinnan syvyys m	0,87	0,76	5,21	1,18
Väri, kenttä	0,65	0,00	0,27	0,00
Sameus, kenttä	0,18	0,00	0,18	0,00
Lämpötila C, kenttä	7,93	7,05	6,98	5,80
Happipitoisuus mg/l, kenttä	7,82	9,30	4,12	2,00
Happi, kyll. %, kenttä	67,27	77,69	32,25	16,29
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l, kenttä	38,05	40,00	70,67	50,00
pH, kenttä	5,06	3,90	4,38	3,70
Sähkönjoht. mS/m 25C, kenttä	32,54	27,10	35,84	29,20
Happipitoisuus mg/l	7,33	9,15	4,71	1,90
Happi kyll. %	63,94	85,22	38,81	17,66
Sameus FTU	3,17	2,50	7,15	4,55
Kiintoaine mg/l	2,45	2,00	3,11	2,65
Sähkönjoht. mS/m 25C	24,70	23,05	37,06	41,00
Alkaliniteetti mval/l	0,25	0,08	0,39	0,00
Asiditeetti mval/l	1,44	1,38	2,24	1,74
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub> mg/l	29,87	33,50	63,82	47,50
Bikarbonaatti HCO <sub>3</sub> mg/l	15,06	4,88	23,54	0,00
pH	4,88	4,65	4,36	3,80
Väriluku Pt mg/l	30,68	15,00	21,88	20,00
KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	9,20	4,85	7,22	6,80
Kokonaistyyppi N mg/l	1,29	0,28	1,92	0,32
Nitriitti NO <sub>2</sub> mg/l	0,04	0,01	0,02	0,01
Nitraatti NO <sub>3</sub> mg/l	4,83	0,14	7,18	0,19
Ammonium NH <sub>4</sub> mg/l	0,11	0,05	0,15	0,13
Fosfaatti PO <sub>4</sub> µg/l	12,09	11,00	14,69	15,00
Kokonaisfosfori P µg/l	12,32	9,00	8,69	7,50
Kloridi Cl mg/l	9,10	9,75	14,41	14,00
Sulfaatti SO <sub>4</sub> mg/l	82,72	120,00	130,00	140,00
Fek. strept. kpl/100 ml	2,09	0,00	1,63	0,00
Koliform. 35C kpl/100 ml	12,48	2,00	9,19	1,50
Fek. kolif. 44C kpl/100 ml	3,36	0,00	2,62	0,00
Klorofylli mg/m <sup>3</sup>	5,66	3,30		
Piihappo SiO <sub>2</sub> mg/l	19,80	24,60	25,31	27,30
Orgaaninen hiili C mg/l	3,00	0,80	1,56	0,85
Kalsium Ca mg/l	15,65	19,50	23,87	24,50
Magnesium Mg mg/l	5,10	5,60	7,76	7,75
Kokonaiskovuus dH	3,36	4,23	5,13	5,05
Natrium Na mg/l	9,74	11,00	14,68	14,50
Kalium K mg/l	2,79	2,75	3,76	3,70
Rauta Fe mg/l	2,53	1,50	15,55	5,65
Mangaani Mn mg/l	0,56	0,84	0,93	0,99
Sinkki Zn µg/l	86,36	55,00	101,87	80,00
Kupari Cu µg/l	14,80	6,40	13,49	7,50
Nikkeli Ni µg/l	58,10	50,00	89,03	95,00
Lyijy Pb µg/l	1,25	0,90	0,93	0,80
Kadmium Cd µg/l	0,34	0,15	0,40	0,30
Kromi Cr µg/l	0,80	0,50	0,69	0,50
Koboltti Co µg/l	34,08	29,00	48,76	48,50
Alumiini Al µg/l Suodatettu	1098,11	370,00	1195,91	900,00
Alumiini Al µg/l Suod.maton	948,95	500,00	1118,05	800,00
Radon Rn Bq/l			1,50	1,50

### Pensalankangas (liiteosan sivut 109 - 117)

Oravaisissa sijaitseva Pensalankangas on pitkä, kapea matala harju, jota ympäröi sulfidisavisedimentit.

Alueella on useita syviä lammikoita, joista pohjoisimmasta nostettiin soraa vuoden 1985 aikana. Keskimmäisestä lammikosta pumpattiin vettä pois, jotta pohjavedenpinta pysyisi alhaalla. Eteläisimmässä lammikossa ei tehty mitään toimenpiteitä.

Huomiota herättävin piirre on veden happamuus (pH 3,0 - 5,4), puskurikapasiteetin täydellinen puuttuminen sekä suuri sulfaatti-, rauta-, mangaani-, sinkki-, kupari-, nikkeli-, koboltti- ja alumiinipitoisuuden nousu. Lammikot ovat myös täysin hapettomia. Vesissä, joissa pH on alle 4,4, ei myöskään ole hiilidioksidia, vaan titrauksessa titrautuvat hapot ovat mineraalihappoja.

### Ekokangas (liiteosan sivut 102 - 108)

Alahärmässä sijaitseva Ekokangas on kapea, soiden ympäröimä harju. Harjusta on otettu soraa niin, että pohjavesi on paljastettu useiksi mataliksi lammikoiksi. Soranoton aikana ojitettiin harjun länsipuolinen suo niin, että ojat päättyivät harjun reunaan ja suovedet pääsivät purkautumaan harjun pohjaveteen.

Harjun pohjavettä on tutkittu vuoden 1985 aikana kahdesta lammikosta ja niiden ylä- ja alavirranpuolelle asennetuista putkista.

Suo-ojat päättyvät pohjoisen lammikon reunaan. Kapea kannas erottaa keskellä harjua olevan eteläisen lammikon pohjoisemmasta.

Pohjoisen lammikon vesi on elektrolyyttiköyhää ja melko hapanta. Väriluku,  $\text{KMnO}_4$ -kulutus, klorofylli ja orgaanisen hiilen määrä on suuri. Myös rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat korkeita, mutta pihappopitoisuus on pieni.

Kannaksen erottama eteläisen lammikon vesi on parempilaatuista. Pintavesipiirteet eivät ole yhtä voimakkaita kuin pohjoisemmassa lammikossa. Vaikka elektrolyyttipitoisuudet ovat hieman nousseet, ovat pihappopitoisuudet kuitenkin pieniä.

### Ruskeasanta (liiteosan sivut 7 - 11)

Vantaalla sijaitseva Ruskeasannaharjun tutkimuskohteena on ollut 7 m syvä kapea lammikko. Alueen pohjavettä rasittaa päättäneen soranoton lisäksi useat muut tekijät: (lento-kentälle ajettava urea, asfalttiasema, betonijäte, kalliolouhinta).

Lammikon veden sähkönjohtavuusarvot ovat korkeat, erityisesti sulfaatti-, nitraatti-, ammonium- ja kalsiumpitoisuudet ovat korkeita. Talven happivajaus aiheuttaa myös raudan, mangaanin, nikkelin ja koboltin kohoamisen.



Koska fosforipitoisuus on hyvin pieni, perustuotantotasoa on alhainen, vaikka typpipitoisuudet ovat erittäin korkeita 4,3 - 8,6 mg/l, nitraattipitoisuus 19 - 37 mg/l. Lisäksi lammikossa on hygieenistä likaantumista.

## 8 PÄÄTELMÄT

### Vajovesikerros

Luonnontilaisessa maannoskerroksessa veden laatu vaihtelee voimakkaasti vuodenaikojen mukaan. Veden laadun vaihtelu seuraa maannoskerroksen kasviston ja pieneliöstön toiminnan aktiivisuuden vuodenaikaisia vaihteluja ja niihin liittyviä kemiallisia ja biokemiallisia reaktioita. Maannoskerroksessa edellä esitetyillä tapahtumilla on tärkeä merkitys vajovedelle ja siitä muodostuvan pohjaveden koostumukselle. Maannoskerrokseen mm. pidentyvät monet pohjavedelle haitalliset aineet.

Kaivun yhteydessä tapahtuva maannoskerroksen poisto tasaa vajoveden laadun vuodenaikaisvaihteluja. Samalla maaperän vedenpidätyskyky ja evapotranspiraatio pienenevät lisäten imeytyvän veden määrää. Vajoveden elektrolyyttipitoisuus kuitenkin kasvaa, koska tällöin ei tapahdu ionien kiinnittymistä kasvien ravinteiksi. Maaperän purkurikapasiteetti pienenee ja eräiden lika-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen helpottuu.

### Pohjavesikerros

Pohjaveden laadun vuodenaikaisvaihtelut ovat pieniä verrattuna niittä vajoveden vastaaviin vaihteluihin. Sitä vastoin pohjaveden laatuun vaikuttavat merkittävästi alueellinen sijainti ja geologiset tekijät. Keskimääräinen elektrolyyttipitoisuus pienenee siirryttäessä etelästä pohjoiseen ja rannikolta sisämaahan.

Laaja-alainen kaivutoiminta, joka kattaa yli kolmasosan pohjaveden muodostumisalueesta, vaikuttaa pohjaveden koostumukseen. Laaja-alaisella soranottoalueella on pohjavedessä enemmän happea ja ioneja kuin sen luonnontilaisessa ympäristössä. Erityisesti kloridin ja nitraatin suhteelliset osuudet kasvavat ja bikarbonaatin osuus pienenee. Soranottoalueiden pohjavedessä ei ole tähänastisissa tuloksissa todettu raskasmetallipitoisuuksien kohoamista luonnontilaiseen pohjaveteen nähden. Kohonneetkin ionipitoisuudet ovat pieniä verrattuna lääkintöhallituksen hyvälle talousvedelle asettamiin raja-arvoihin.

Kun kaivun alue on pieni pohjaveden muodostumisalueeseen nähden, ovat muutokset veden koostumuksessa tuskin havaittavissa.

### Pohjavesilammikot

Pohjavedenpinnan alaisen kaivun synnyttämien lammikoiden veden laadussa voidaan todeta samankaltaista alueellista vaihtelua kuin pohjavedessäkin. Elektrolyyttipitoisuus ja kokonaiskovuus ovat etelässä selvästi pohjoisempien alueiden arvoja korkeampia.

Lammikon sijainnista ja siitä johtuvasta pohjaveden virtausolosuhteesta riippuu lammikon vaikutus ympäröivään pohjaveteen. Läpivirtaamaton lammikko vaikuttaa pohjaveden koostumukseen vähän tai ei ollenkaan. Siinä likaantumisen vaikutus näkyy vain itse lammikon tilan huononemisenä.

Läpivirtaus on etu lammikon tilalle. Vaikutus läheiselle vedenottamolle voi tulla esille mm. lämpötilan, happipitoisuuden ja pH:n nousuna sekä piihappopitoisuuden ja sähköjohtavuusarvojen laskuna. Läpivirtaavassa lammikossa on sen tilan huononeminen likaantumistapauksessa vähäisempää kuin läpivirtaamattomassa tai ainakin ohimenevä ilmiö. Läheisen ottamon veden laadun heikkenemisen riski on tällöin kuitenkin ilmeinen.

## 9 TUTKIMUKSEN SUUNTAAMINEN

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää maa-ainesten oton pitkäaikaiset ja nopeat vaikutukset pohjaveden koostumukseen ja määrään sekä pohjaveden suojelutekniikka ja ottoalueiden jälkihoitotoimenpiteet. Tavoitteiden saavuttamiseksi tulee tutkimusta jatkaa luvussa 3 esitetyn tutkimussuunnitelman mukaisesti.

### Vajovesikerros

Jatketaan sade- ja vajoveden koostumuksen muutosten seuranta luonnontilaisissa maannoskerroksissa ja olosuhteissa, joissa maannoskerros on poistettu. Selvitetään, miten jälkihoitotoimenpiteillä voidaan vähentää maannoskerroksen poistosta ja suojakerrospaksuuden pienenemisestä tai poistamisesta aiheutuneita haittoja.

### Pohjavesi

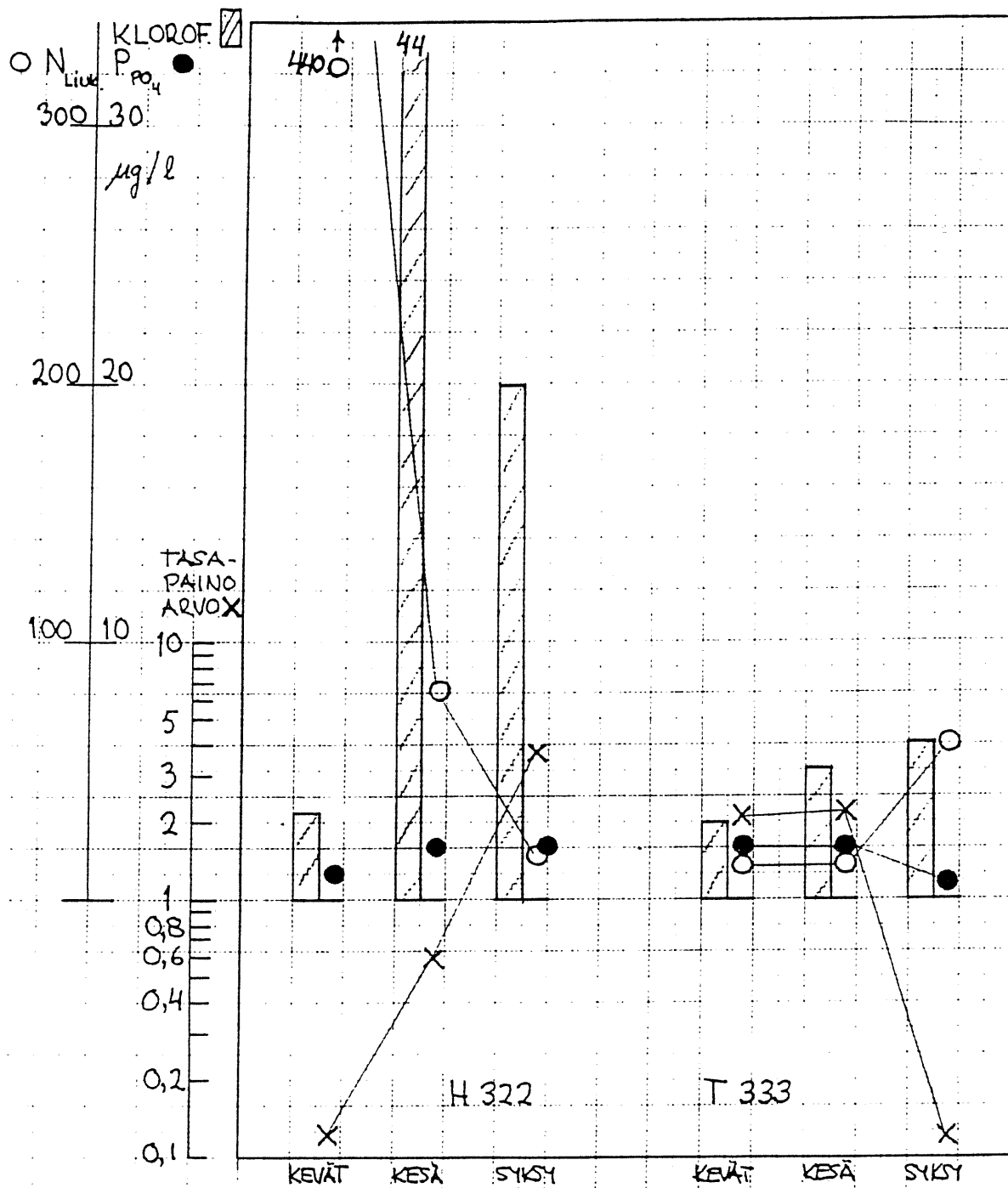
Seurataan pohjaveden koostumukselle ja määrälle maa-ainesten ottoalueilla tapahtuvia muutoksia ja tutkitaan niiden laajuus sekä muutoksiin vaikuttavat tekijät. Arvioidaan pohjaveden koostumukselle ajan mittaan mahdollisesti tapahtuvien muutosten suunta ja niiden merkitys pohjaveden käytölle juoma- ja talousvetenä.

### Pohjavesilammikot

Pohjavesilammikoiden luokitusta veden virtausnopeuden, kasviplanktonin esiintymisen (myös sinilevät) sekä lammikon pohjan sedimentoitumisen suhteen täsmennetään, jotta erilaisten lammikoiden vaikutus pohjaveteen voidaan selvittää ja kaivutoiminta ohjata oikein erilaisissa hydrogeologisissa ympäristöissä.

### Aineiston käsittely

Tutkimuksessa syntyvät riittävän pitkät aikasarjat ja laaja aineisto käsitellään tilastomatemattisin menetelmin. Aluetutkimustulosten summavaikutuksia tutkitaan ristiintarkastellulla ja liittämällä niihin osatutkimusten aineistoa. Näin selvitetään eri tekijöiden syy-seuraussuhteet.



Kuva 186. Klorofylli - a:n pitoisuus, liukoisten epäorgaanisten fosfori- ja typpiyhdisteiden pitoisuudet ja tasapainoarvo avovesikaudella läpivirtaavassa (Rusko, T333) ja läpivirtaamattomassa (Ristikivenmäki H322) lammikossa

$$\text{Tasapainoarvo} = \frac{N_{\text{kok}} : P_{\text{kok}}}{(N_{\text{NO}_3} + N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NH}_4}) : P_{\text{PO}_4}}$$

jos arvo >1, typpi rajoittaa perustuotantoa  
 <1, fosfori rajoittaa perustuotantoa



## KIRJALLISUUS

- Coughtrey, Jackson, Thorne, 1983: Radionuclide Distribution and Transport in Terrestrial and Aquatic Ecosystems A.A Balkema.
- Faust, Aly, 1981: Chemistry of Natural Waters Ann. Arbon Science.
- Forsius; M., 1987: Suomen järvien alueellinen happamuustilanne. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja nro 9.
- Giesecking (ed.), 1975: Soil Components. Springer Verlag.
- Heinonen et al. 1985: Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokit-  
taminen. VH:n monistesarja nro 332.
- Hyypä, J., 1984: Miten soranotto vaikuttaa pohjaveden laatuun.  
Vesipäivät 1984.
- Hutzinger (ed.) 1984: The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 1.  
Part C. Springer Verlag.
- Järvinen, O., Haapala, K., 1980: Sadeveden laatu Suomessa 1971 - 1977.  
Vesihallitus. Tiedotus 198.
- Kabata-Pendias, Pendias, 1984: Trace Elements in Soil and Plants. Florida  
1984. CRC - Press.
- Maa- ja Vesi Oy, Insinööritoimisto, 1985 a: Maa-ainesten oton vaikutus  
pohjaveteen, virtausnopeusmittaukset, veden laatumittaukset.  
TVH. Helsinki 1985.
- Maa- ja vesi Oy, Insinööritoimisto, 1985 B: Pohjavesinäytteiden öljy-  
pitoisuuksien määrittäminen. TVH.
- Niemelä, J., 1979: Suomen sora- ja hiekkavarojen arvioimisprojekti 1971 -  
1978. GTK, tutkimusraportti N:o 42.
- Sawyer, Mccarthy, 1978: Chemistry for Environmental Engineering. McGraw -  
Hill.
- Scheffer, Schachtschabel, 1976: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke  
Verlag.
- Vesihallitus 1986: Vesihuoltolaitokset 31.12.1985. Tiedotus N:ro 279.



## MAA-AINEKSEN OTON VAIKUTUS POHJAVETEEN: näytteenotto ja analyysit

Kentällä määritetään: väri 0-3; sameus 0-3; lämpötila: redox potentiaali;  $\text{CO}_2$ ;  $\text{O}_2$ ; pH; sähkönjohtavuus  
Mukaan otettavat pullot:

- Perusnäyte 1 l VH tai GTK - ei suodatusta eikä hapotusta --- määritykset: pH, johtokyky, alkaliteetti/asiditeetti, väriluku, Cl,  $\text{KMnO}_4$ (GTK),
- Typpi- ja fosfaattimääritykset 1 l VH --- määritykset: Kok.-N,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$
- $\text{KMnO}_4$ -luku ja kokonaisfosfori 0,5 l VH --- hapotus  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Raskasmetallit 100 ml GTK --- määritykset: 17-32. Suodatus 0,45 um ja hapotus 0,2 ml 65% suprapur typpihapolla
- Hiilidioksiidi VH tai GTK 100 ml
- Happi 100 ml VH tai GTK
- $\text{SiO}_2$ , F 100 ml VH
- Radon 10 ml GTK
- Uraani 500 ml GTK suodatus 0,45 um ja hapotus 10 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Bakteerinäyte 300 ml VH
- Klorofyllinäyte 2 l VH (pimeä pullo )
- Kiintoainne 500 ml

Laboratoriossa:

	näyte otetaan x/vuosi	määrittäminen paikka	näytepullo	menetelmä
1. $\text{CO}_2$ , mg/l		VH, GTK	100 ml	100 ml vettä johon ind. 0,5 ml fenoftaleinia ja titraus 0,0227-n natriumhydroksidilla (NaOH) vaaleanpun. väri säilyttävä 3 min. sekoitettava ravistamatta titraustulos $\times 10,0 = \text{CO}_2$ mg/l
2. $\text{O}_2$ , %		VH, GTK	100 ml	happimittari kentällä sekä Winklerin menetelmä (liite 1.)
3. Alkaliteetti/m mol/l asiditeetti		VH, GTK	perusnäyte	liite 2. menetelmä
4. Väriluku, Pt mg/l		VH, GTK	perusnäyte	Hellige värikiekkio
5. pH		VH, GTK	perusnäyte	kentällä sekä laboratoriossa mittari
6. Sähkönjohtavuus mS/m $25^\circ\text{C}$		VH, GTK	perusnäyte	kentällä sekä laboratoriossa mittari
7. $\text{KMnO}_4$ -luku, mg/l		VH, GTK	perusnäyte	liite 3. menetelmä
8. $\text{N}_{\text{tot}}$		VH	näyte	
9. $\text{NH}_4$				
10. $\text{NO}_3$				
11. $\text{NO}_2$				
12. $\text{PO}_4$				
13. Cl , mg/l		VH, GTK	perusnäyte	menetelmä: merkurinitraatti-titraus liite 4.
14. $\text{SO}_4$ "		VH	perusnäyte	menetelmä: turbidimetrisen
15. F "		VH	perusnäyte	liite 5. fluoridielektrodi (ei vakituinen määritettävä)
16. $\text{SiO}_2$ "		VH	perusnäyte	liite 6.
17. Ca "		GTK	raskasmet.	Sr-lisäys, AAS-liekki
18. Mg "		GTK	"	AAS-liekki
19. Na "				"
20. K "				"
21. Fe "				"
22. Mn "				"
23. Zn $\mu\text{g/l}$				"
24. Cu "				AAS-grafiittiuuni
25. Ni "				"
26. Pb "				"
27. Cd "				"
28. Cr "				"
29. Co "				"
30. Al "				"
31. Rn Bq/l				(määritetään vain pohjimmaisimmasta näytteestä)
32. U $\mu\text{g/l}$				"
33. Kiintoainne		VH, GTK	perusnäyte	menetelmä: liite 7.
34. Öljy		VH	2 l lasipullo	(määrit.vain erikoistapauksessa)
35. Klorofylli		VH	klorofylli	(lammikoiden pintanäytteestä)
36. Plankton laji-määrittäminen		VH	biologinen	(erikoistapauksissa)
37. Sameus FTU		VH	perusnäyte	menetelmä: nefelometri (liite 8.)
38. Hiili		VH		(lammikonäytteistä)
39. Kolimuoto. $45^\circ\text{C}$		VH		
40. Kolimuoto. $35^\circ\text{C}$				
41. Fek.strept.				

## MAANÄYTTEIDEN UUTOSTUTKIMUSTEN TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksen näytteenottopäivämäärät olivat 10.7.1985, 6.3.1986, 30.4.1986, 4.7.1986 ja 22.10.1986. Keskimääräiset näytteenottosyvyydet maannosprofiileista olivat: Karike/humus 0 - 4 cm, uuttumiskerros 8 cm, rikastumiskerros 22 cm ja muuttumaton maa 70 cm.

Maanäytteet otettiin näytepaikoilta yhden litran muovipusseihin. Laboratoriossa 250 ml maa-ainesta ja sama määrä tislattua vettä (osassa näytteitä sadevettä) sekoitettiin litran kannelliseen muoviasiaan. Astiassa ainekset sekoitettiin uuttamisen aikana kaksi kertaa ravistamalla (1 ja 23 tuntia uuttamisen aloittamisesta). Aines suodatettiin 0,45 µm membraanifiltterin (Versapor 450) läpi noin vuorokauden uuttamisen jälkeen.

Suodatetusta uutოსnesteestä otettiin 50 ml näytettä raskasmetalli- ja muuta kationianalyysiä varten. Tämä kestäväväitettiin lisäämällä 0,1 ml väkevää 65 % typpihappoa. Näyte analysoitiin atomiabsorptiolaitteistolla sekä tavanomaisella liekki-menetelmällä että liekittömällä grafiittiuunimenetelmällä milloin pitoisuudet olivat pieniä. Kloridipitoisuudet analysoitiin titraamalla ja piihappopitoisuudet spektrofotometrisesti. pH-arvot mitattiin WTW pH-mittarilla, jossa oli WTW E50 antura. Sähkönjohtavuus mitattiin WTW LF90 mittarilla, jossa oli WTW KLE1 antura. Kemialliset analyysit on tehty GTK:n maaperäosaston Otaniemen vesilaboratoriossa. Raekoko-analyysit ja humuspitoisuudet määritettiin GTK:n maa-ainelaboratoriossa.

Tutkimusaineisto on tallennettu ja käsitelty GTK:n VAX-tietokoneella.



## Maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen

Tietuekuvaukset

Perustiedot näytepisteittäin

\* = avain

1. vesipiirin tunnus *	1 a
2. harjujakson tunnus *	1 n
3. valuma-alueen tunnus *	1 n
4. näytenumero *	1 x
5. näytetaso *	1 a
6. näytetyyppi *	1 a
-----	
7. karttalehti	6 n
8. x-koord.	6 n
9. y-	6 n
10. z-	5 n
11. kunta	3 n
12. projektin luokitus *	2 n
13. näytteenottopaikka *	2 a
14. putken maanpäällinen korkeus, m	4.2 n
15. näytepaikan etäisyys veden- jakajasta, km	3.2 n
-----	
16. Itämeren vaihe	2 an
17. kivilaji	2 n
18. muodostuma	1 a
19. muodostuman, valuma-alueen, päämaalaji	2 a
20. virtausta estävät kerrostumat	2 a
21. estävien kerrosten vaikutus	1 n
-----	
22. valuma-alueen pinta-ala, ha	4.1 n
23. pumpatun veden määrä/v-a, m <sup>3</sup> /d	4 n
24. lähteistä purk. veden määrä/v-a, m <sup>3</sup> /d	3 n

## Perustiedot näytepisteittäin

\* = avain

---

25. pumppauksen määrä luvan mukaan, m <sup>3</sup> /d	4 n
-----	
26. valuma-alueen puulaji	1 n
27. puuston ikä	1 n
28. aluskasvillisuus	1 a
-----	
29. lammikon pinta-ala, ha	3.1 n
30. lammikon max. syv. m	3.1 n
31. lammikon leveyden suhde pituuteen virtaussuunnassa	4.2 n
32. lammikon sijainti virtauskentässä	2 n
33. lammikoiden pinta-ala valuma-alueella yht., ha	4.1 n



